

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس

# طراحی اتصالات پای ستون در سازه‌های فولادی

مؤلفان:

دکتر موسی محمودی صاحبی

عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس شهید رجائی

مهندس مهدی زارع

|                      |                                                                                    |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| سر شناسنامه          | : محمودی صاحبی، موسی، ۱۳۴۲-                                                        |
| عنوان و نام پدید آور | : طراحی اتصالات پای ستون در سازه‌های فولادی / مؤلفان موسی محمودی صاحبی. مهدی زارع. |
| مشخصات نشر           | : تهران: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، ۱۳۹۳.                                      |
| مشخصات ظاهری         | : ۱۴۰ ص: مصور، جدول، نمودار.                                                       |
| شابک                 | : ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۳۱-۶                                                                |
| وضعیت فهرست نویسی    | : فیپا.                                                                            |
| موضوع                | : سازه‌های فولادی                                                                  |
| شناسه افزوده         | : زارع، مهدی، ۱۳۶۰-                                                                |
| شناسه افزوده         | : دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی                                                    |
| شناسه افزوده         | :                                                                                  |
| رده بندی کنگره       | : TA ۶۸۴ / م۳ ط۴ ۱۳۹۳                                                              |
| رده بندی دیویی       | : ۶۲۴/۱۸۲۱                                                                         |
| شماره کتابشناسی ملی  | : ۳۶۱۲۹۰۹                                                                          |



دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

|                    |                                                                                        |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| عنوان              | : طراحی اتصالات پای ستون در سازه‌های فولادی                                            |
| تألیف              | : دکتر موسی محمودی صاحبی، عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، مهندس مهدی زارع |
| ویراستار علمی      | : دکتر موسی محمودی صاحبی                                                               |
| ویراستار ادبی      | : دکتر یداله بهمنی                                                                     |
| نوبت چاپ           | : اول - تابستان ۱۳۹۳                                                                   |
| انتشارات           | : دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی                                                        |
| لیتوگرافی          | : نگین سبز                                                                             |
| چاپ                | : برهان                                                                                |
| طراح جلد           | : مهسا بهفر                                                                            |
| ناظر چاپ           | : محمد معتمدی نژاد                                                                     |
| کارشناس و صفحه‌آرا | : نیره فیروزی                                                                          |
| شمارگان            | : ۱۰۰۰ جلد                                                                             |
| قیمت               | : ۷,۰۰۰ تومان                                                                          |
| شابک               | : ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۳۱-۶ ISBN: ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۳۱-۶                                            |

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفین و مترجمین و دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی محفوظ است.  
 نشانی: تهران، لویزان - کد پستی ۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸ - صندوق پستی ۱۶۳ - ۱۶۷۸۵ - تلفن: (۲۶۳۲) ۹ - ۲۲۹۷۰۰۶۰،  
 شماره: ۲۲۹۷۰۰۷۰، پست الکترونیکی: Publish@srutu.edu، وب سایت: http://Publish.srutu.edu

## پیشگفتار

اتصال پای ستون، گلوگاه انتقال بارهای وارد بر ساختمان به شالوده و زمین می‌باشد. شناخت صحیح این اتصال می‌تواند اطمینان از انتقال بار را افزایش دهد. علی‌رغم اهمیت این نوع اتصال در سازه‌های فولادی، اطلاعات مکتوب اندکی در ارتباط با شناخت و طراحی آن‌ها وجود دارد. به همین دلیل مؤلفان این کتاب بر آن شدند تا کتاب حاضر را برای معرفی بیشتر اتصالات پای ستون آماده کنند و روش طراحی را بر اساس آیین‌نامه‌های معتبر ارائه نمایند. در فصول اولیه کتاب مطالبی ارائه شده است تا خوانندگان اجزا و رفتار انواع اتصالات پای ستون اعم از مفصلی و گیردار را بشناسند. در فصل‌های میانی روش‌های طراحی اجزا مختلف اتصال پای ستون برای انتقال تلاش‌هایی مانند فشار، کشش، خمش و برش بطور جداگانه ارائه گردیده است که در طراحی آن‌ها از روش‌های تنش مجاز و حالات حدی استفاده شده است. همچنین برای آن‌ها مثال‌های متنوعی ارائه گردیده است تا درک مفاهیم را ساده‌تر نماید. در پایان نیز مثال‌هایی کاربردی برای انتقال تلاش‌ها به‌طور همزمان حل شده است. این کتاب برای دانشجویان کارشناسی مهندسی عمران و کارشناسی ارشد مهندسی سازه و مهندسی زلزله و مهندسان محاسب و طراح سازه‌ای پیشنهاد می‌گردد.



## فهرست مطالب

| صفحه                                                      | عنوان                                                  |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| <b>فصل اول: کلیات</b>                                     |                                                        |
| 1                                                         | 1-1- مقدمه                                             |
| 2                                                         | 2-1- اتصالات پای ستون                                  |
| 4                                                         | 3-1- اهداف کتاب                                        |
| 4                                                         | 4-1- محتوای کتاب                                       |
| <b>فصل دوم: اتصالات پای ستون</b>                          |                                                        |
| 7                                                         | 1-2- مقدمه                                             |
| 10                                                        | 2-2- اجزای تشکیل دهنده‌ی اتصال پای ستون                |
| 15                                                        | 3-2- انواع گسیختگی فولاد در اتصال پای ستون             |
| 15                                                        | 4-2- رفتار اتصال پای ستون بر اساس نوع قاب سازه‌ای      |
| 16                                                        | 5-2- رفتار کلی اتصال پای ستون                          |
| 17                                                        | 1-5-2- رفتار اجزای مختلف اتصال پای ستون                |
| 22                                                        | 2-5-2- تعیین رفتار کلی اتصال پای ستون                  |
| <b>فصل سوم: طراحی اتصالات پای ستون با بار محوری فشاری</b> |                                                        |
| 25                                                        | 1-3- مقدمه                                             |
| 25                                                        | 2-3- تعیین ابعاد ورق فولادی کف ستون                    |
| 29                                                        | 3-3- تعیین ضخامت ورق فولادی کف ستون                    |
| 30                                                        | 1-3-3- تعیین ضخامت ورق کف ستون بدون سخت‌کننده          |
| 32                                                        | 2-3-3- کاهش ضخامت کف ستون با ورق‌های سخت‌کننده         |
| 35                                                        | 4-3- مراحل گام به گام طراحی کف ستون با بار محوری فشاری |
| 35                                                        | 1-4-3- حالت (1)                                        |
| 39                                                        | 2-4-3- حالت (2)                                        |
| 43                                                        | 3-4-3- حالت (3)                                        |

### فصل چهارم: طراحی اتصالات پای ستون با بار محوری کششی

- 49 1-4-1 مقدمه
- 49 2-4-1 میل مهارها
- 51 3-4-1 طراحی میل مهار با قلاب انتهایی
- 52 1-3-4-1 مقاومت گسیختگی میل مهار با قلاب انتهایی در کشش
- 54 2-3-4-1 مقاومت بیرون آمدن میل مهار با قلاب انتهایی
- 57 4-4-1 طراحی میل مهار با گل میخ یا مهره‌ی انتهایی
- 57 1-4-4-1 مقاومت گسیختگی میل مهار با قلاب انتهایی در کشش
- 59 2-4-4-1 مقاومت بیرون آمدن میل مهار با مهره‌ی انتهایی
- 59 3-4-4-1 مقاومت شکست بتن برای میل مهار با مهره‌ی انتهایی
- 61 4-4-4-1 مقاومت ترکیدگی سطح کناری بتن

### فصل پنجم: طراحی اتصالات پای ستون تحت تأثیر لنگر خمشی

- 65 1-5-1 مقدمه
- 66 2-5-1 طراحی اتصالات پای ستون تحت تأثیر لنگر خمشی با فرض توزیع تنش فشاری یکنواخت
- 66 1-2-5-1 طراحی اتصالات پای ستون با بار محور کوچک
- 67 1-1-2-5-1 تنش مقاوم بتن
- 68 2-1-2-5-1 حد تسلیم خمشی ورق کف ستون در سطح مقاوم تکیه‌گاهی
- 70 3-1-2-5-1 تسلیم خمشی ورق کف ستون در سطح کشش
- 70 4-1-2-5-1 مراحل مختلف طراحی
- 70 2-2-5-1 طراحی اتصالات پای ستون با بار محور بزرگ
- 71 1-2-2-5-1 تنش مقاوم بتن و نیروهای میل مهارها
- 73 2-2-2-5-1 حد تسلیم خمشی ورق کف ستون در سطح مقاوم تکیه‌گاهی
- 74 3-2-2-5-1 تسلیم خمشی ورق کف ستون در سطح کشش
- 75 4-2-2-5-1 مراحل مختلف طراحی
- 84 3-5-1 طراحی اتصالات پای ستون تحت تأثیر لنگر خمشی با فرض توزیع تنش فشاری مثلی
- 85 1-3-5-1 تعیین تنش موجود و تأثیر خروج از مرکزیت

- 86 2-3-5- مراحل طراحی برای برون محوری کوچک  
89 3-3-5- مراحل طراحی برای برون محوری بزرگ

### فصل ششم: طراحی اتصالات پای ستون تحت تأثیر برش

- 103 1-6- مقدمه  
104 2-6- انتقال برش در پای ستون  
105 3-6- طراحی میل مهارها تحت تأثیر نیروی برشی  
106 4-6- طراحی کلید برشی

### فصل هفتم: مثال های تکمیلی

- 111 1-7- مقدمه  
111 2-7- مثال های طراحی

### منابع و مراجع

- 131 منابع

### فهرست جداول

- 24 جدول 1-2- رفتار کلی اتصالات پای ستون  
34 جدول 1-3- ضرایب لنگر خمشی ورق کف ستون بین سخت کننده ها با سه و چهار لبه متکی

### فهرست شکل ها

- 3 شکل 1-1- اتصال پای ستون  
9 شکل 1-2- اتصال پای ستون بدون پوشش بتنی  
9 شکل 2-2- اتصال پای ستون احاطه شده در بتن شالوده  
11 شکل 3-2- رفتار ورق کف ستون  
12 شکل 4-2- نمونه های مختلف میله های مهار  
13 شکل 5-2- محل غیر قابل دسترسی میله های مهار  
16 شکل 6-2- جزئیات ورق اتصال مهاربند و ورق اتصال کف ستون در قاب مهاربندی شده  
18 شکل 7-2- اتصال مفصلی ستون به کف ستون بوسیله نبشی  
18 شکل 8-2- اتصال مفصلی ستون به کف ستون بوسیله نبشی  
19 شکل 9-2- اتصال مفصلی ستون به کف ستون بوسیله نبشی و لچکی

- 19 شکل 2-10- اتصال گیردار ستون به کف ستون بوسیله جوش نفوذی
- 20 شکل 2-11- اتصال گیردار ستون به کف ستون بوسیله جوش نفوذی
- 20 شکل 2-12- اتصال گیردار ستون به کف ستون بوسیله ورق سخت‌کننده
- 21 شکل 2-13- اتصال گیردار ستون به کف ستون بوسیله ورق سخت‌کننده
- 22 شکل 2-14- اتصال مفصلی کف ستون به شالوده بتنی
- 22 شکل 2-15- اتصال مفصلی کف ستون به شالوده بتنی
- 23 شکل 2-16- اتصال گیردار کف ستون به شالوده بتنی
- 26 شکل 3-1- فرض تنش فشاری یکنواخت
- 26 شکل 3-2- سطح اتکای کف ستون در تماس با شالوده
- 30 شکل 3-3- خطوط فرضی خم شدن ورق کف ستون
- 30 شکل 3-4- تعیین طول فرضی خم
- 32 شکل 3-5- خطوط تسلیم در مقطع بحرانی
- 33 شکل 3-6- نواحی تشکیل شده توسط سخت‌کننده‌ها روی کف ستون
- 50 شکل 4-1- میله‌های مهارى پای ستون
- 52 شکل 4-2- حالت‌های گسیختگی میلگردهای مهارى در کشش
- 55 شکل 4-3- میل مهار با قلاب انتهایی
- 57 شکل 4-4- مشخصات میل مهار با قلاب انتهایی
- 60 شکل 4-5- مخروط کامل شکست در کشش
- 61 شکل 4-6- سطح شکست بتن برای مهار تک و گروهی در محاسبه  $A_{NCo}$
- 62 شکل 4-7- مقاومت ترکیبى جانبى میل مهار نزدیک لبه در اثر کشش
- 66 شکل 5-1- اتصال پای ستون تحت تأثیر لنگر خمشی کوچک
- 71 شکل 5-2- اتصال پای ستون تحت تأثیر لنگر خمشی بزرگ
- 78 شکل 5-3- نمایش بارهای وارده و عکس‌العمل‌های اتصال پای ستون
- 84 شکل 5-4- نمایش بارهای وارده و عکس‌العمل‌های اتصال پای ستون
- 84 شکل 5-5- آنالیز الاستیک برای توزیع مثلثی بار محوری و لنگر خمشی
- 86 شکل 5-6- تأثیر خروج از مرکزیت ناچیز بر روی توزیع تنش مثلثی
- 89 شکل 5-7- تأثیر خروج از مرکزیت بزرگ بر روی توزیع تنش مثلثی
- 97 شکل 5-8- نمایش بارهای وارده و عکس‌العمل‌های اتصال پای ستون



|     |                                                             |
|-----|-------------------------------------------------------------|
| 102 | شکل 5-9- نمایش بارهای وارده و عکس‌العمل‌های اتصال پای ستون  |
| 105 | شکل 6-1- انتقال برش پایه با استفاده از تکیه گاه             |
| 106 | شکل 6-2- نحوه انتقال نیرو در کلید برشی                      |
| 114 | شکل 7-1- نمایش بارهای وارده و عکس‌العمل‌های اتصال پای ستون  |
| 115 | شکل 7-2- چیدمان سخت کننده‌ها در پلان کف ستون                |
| 116 | شکل 7-3- فشار وارده از کف ستون به سخت کننده                 |
| 116 | شکل 7-4- مقطع تحمل کننده‌ی لنگر                             |
| 120 | شکل 7-5- پلان و مقطع نهایی کف ستون                          |
| 121 | شکل 7-6- موقعیت قرار گیری ستون روی کف ستون                  |
| 122 | شکل 7-7- موقعیت قرار گیری کف ستون روی شالوده                |
| 123 | شکل 7-8- نمایش بارهای وارده و عکس‌العمل‌های اتصال پای ستون  |
| 126 | شکل 7-9- چیدمان سخت کننده‌ها در پلان کف ستون                |
| 128 | شکل 7-10- نمایش بارهای وارده و عکس‌العمل‌های اتصال پای ستون |
| 129 | شکل 7-11- فشار وارده از کف ستون به سخت کننده                |
| 129 | شکل 7-12- مقطع تحمل کننده‌ی لنگر                            |
| 130 | شکل 7-13- پلان و مقطع نهایی کف ستون                         |



# فصل اول

## کلیات

### 1-1 - مقدمه

قاب‌های فولادی یکی از سیستم‌های سازه‌ای متداول مورد استفاده برای مقابله با بارهای اعمالی است. در این سیستم‌های سازه‌ای تشابه بین رفتار پیش‌بینی شده و رفتار واقعی به جزئیات قسمت‌های مختلف سازه و درستی فرضیات به‌کار رفته در طراحی، بستگی دارد. قاب‌های خمشی فولادی و قاب‌های مهاربندی فولادی مجموعه‌ای از اعضای باربر ساخته شده از نیم‌رخ‌های فولادی یا ورق می‌باشند که به کمک اتصالات به یکدیگر متصل می‌گردند. اتصالات جزئیاتی از سازه‌های فولادی هستند که تأثیر مهمی بر روی رفتار این سازه‌ها دارند، به‌طوری‌که تخریب ساختمان‌های فولادی بیشتر در اثر شکست اتصالات به وقوع می‌پیوندد [1]. به علت پیچیده‌تر بودن آنالیز اتصالات نسبت به دیگر اعضای سازه‌های فولادی و تفاوت بین نتایج آنالیز و رفتار واقعی، اتصالات بصورت محافظه کارانه‌تر از قسمت‌های دیگر سازه طراحی می‌گردند. همچنین به‌جای تشکیل گسیختگی در اتصالات که اعضای زیادی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، ترجیح داده می‌شود که گسیختگی در اعضای سازه به‌وجود آید [2]. اتصالات هزینه‌های زیادی را به خود اختصاص می‌دهند، بنابراین جزئیات طراحی اولیه آنها در اقتصاد طرح از اهمیت خاصی برخوردار است. به دلیل تأثیرگذاری نوع طراحی اتصال بر روی طراحی دیگر اعضا باید قبل از تعیین و طراحی اولیه سیستم سازه‌ای، تصمیم‌گیری در رابطه با ساختار اتصالات انجام گیرد. بطور مثال در آنالیز قاب‌ها، نیروی اعضا با فرض اتصالات مفصلی، صلب و یا نیمه صلب تعیین می‌گردد؛ در حالی که رفتار واقعی اتصال را نمی‌توان با این دقت در نظر گرفت. بنابراین تفاوت ممکن در رفتار واقعی اتصال باید مد نظر قرار گیرد تا رفتار اتصال طراحی شده با فرض اولیه آن اختلاف چندانی نداشته باشد.

یکی از اتصالات مهم در سازه‌های فولادی، اتصالات پای ستون می‌باشد که وظیفه‌ی انتقال بارهای وارده از سازه به عضو پشتیبان را بر عهده دارد. مشاهدات و گزارش‌ها از زلزله‌های اخیر

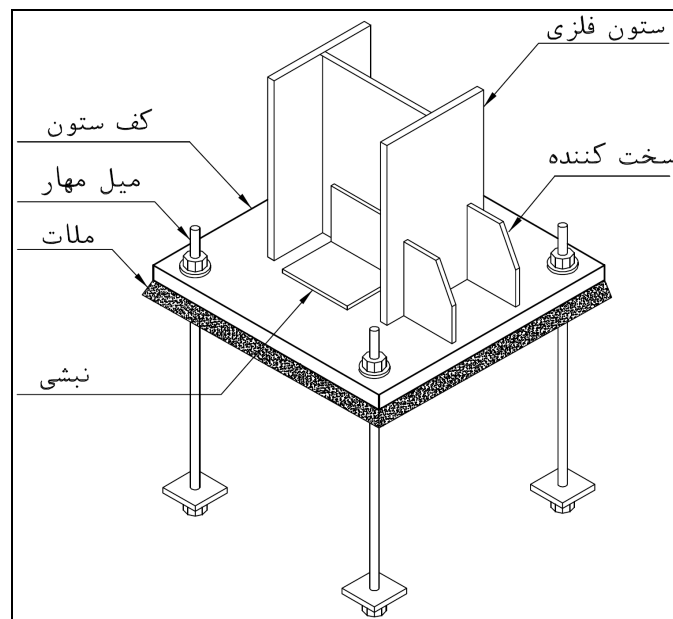
عدم عملکرد رضایت‌بخش اتصالات پای ستون بخصوص برای اتصالات طراحی شده با روش‌های قدیمی را نشان می‌دهند. خسارات به اتصالات پای ستون اساساً شامل طولیل‌شدگی بیش از حد میل‌مهارها، گسیختگی زودرس و پیش‌بینی نشده میله‌های مهار، گسیختگی برشی و شکست ترد ورق کف ستون و شکست بتن (شامل ترک خوردگی ملات) می‌باشد [3 و 4]. بر اساس بازبینی‌های آماری انجام شده بر روی خسارت‌های وارده بر سازه‌های فولادی، آسیب‌های نسبتاً بالایی به اتصالات پای ستون گزارش شده است. این موارد نشان دهنده اهمیت رسیدگی به روش‌های طراحی قابل اطمینان و بهبود شکل پذیری بیشتر در جزئیات اتصال پای ستون می‌باشد.

### 1-2- اتصالات پای ستون

سازه‌های ساختمانی باید قادر به انتقال نیروهای عمودی (ثقلی) و نیروهای جانبی وارده به عضو پشتیبان باشند. در اکثر سیستم‌های سازه‌ای، شالوده بتنی، به عنوان عضو پشتیبانی در نظر گرفته می‌شود [5]. ستون‌های یک ساختمان اسکلت فلزی، نقش انتقال دهنده بارهای وارد شده (به صورت نیروی فشاری، کششی، برشی یا لنگر خمشی) را به شالوده بر عهده دارند. بزرگی و ترکیب این نیروها باید برای طراحی جزئیات اتصال در نظر گرفته شود. با توجه به بالا بودن مقاومت ستون فلزی، تنش‌های بزرگی از این عضو به شالوده انتقال می‌یابد به طوری که بتن با مقاومت پایین‌تر از فولاد قابلیت تحمل این تنش‌ها را ندارد. بنابراین ورق فلزی (کف ستون) بین ستون و بتن شالوده قرار می‌گیرد که با افزایش سطح تماس، باعث توزیع نیروهای ستون و کاهش تنش وارده از ستون به بتن شالوده می‌گردد [6].

اتصالات پای ستون بحرانی‌ترین سطح مشترک بین سازه فولادی و شالوده است. عملکرد جزئیات اتصال پای ستون فولادی، برای انتقال بارهای ستون به عضو پشتیبان (شالوده) و همچنین فراهم کردن توانایی ایستادگی ستون‌ها به عنوان پایه‌ی قائم موقتی (بدون مهار جانبی) در مقابل بار ناشی از باد و نصب سازه در زمان نصب می‌باشد. اهمیت جایگذاری میل مهارها که یکی از مولفه‌های کلیدی در برقراری ایمنی هنگام برپا کردن سازه و تعیین دقیق مساحت ساختمان است، قابل صرف‌نظر کردن نمی‌باشد. صفحات ستون و جزئیات مربوط به آن، اغلب آخرین بخش از سازه فولادی در طراحی و اولین بخش مورد نیاز سازه در اجرا هستند. قسمت‌های مختلف اتصال پای ستون معمولاً شامل کف ستون فولادی، میل مهارها،

ورق‌های سخت‌کننده (لچکی)، جوش اتصال، نبشی اتصال، ملات پرکننده و ... می‌باشد [7]  
(شکل 1-1).



شکل 1-1: اتصال پای ستون

اجرای اتصالات پای ستون باید با استفاده از مصالح در دسترس انجام گیرد. انتخاب مصالح و جزئیات طراحی اتصالات پای ستون به طور چشمگیری بر روی هزینه ساخت، نصب و عملکرد آن‌ها با توجه به بارهای وارده تأثیرگذار است. بنابراین دلایل بسیار کمی برای استفاده از مصالح با مقاومت بالا وجود دارد. ابعاد کف ستون در هنگام طراحی باید به گونه‌ای انتخاب شود تا تهیه و برش صفحات به ساده‌ترین صورت انجام گردد. علاوه بر اهمیت طراحی این اتصالات برای برآورد نیاز مقاومتی، شناخت اثرگذاری اتصال بر روی رفتار سازه نیز از اهمیت خاصی برخوردار است.

معمولاً فرضیات به‌کار رفته در رابطه با شرایط مرزی در تحلیل سازه‌ها بوسیله اتصالات نمایش داده می‌شود. از این رو اختصاص مشخصه‌های نادرست به اتصالات می‌تواند منجر به ارزیابی نادرست تغییر مکان نسبی طبقات، عدم شناخت ممان‌های مرتبه دوم (در صورت دست بالا گرفتن سختی) و یا ابعاد بیش از اندازه‌ی ستون‌ها (در صورت دست کم گرفتن سختی) گردد.

نیروها و تغییرشکل‌های به‌دست آمده از تحلیل برای طراحی اتصال پای ستون بستگی به انتخاب جزئیات اتصال دارد.

### 1-3- اهداف کتاب

با گذشت سالیان متمادی از استفاده فولاد در صنعت ساختمان، هنوز اشکالاتی در طراحی و اجرای سازه‌های فولادی دیده می‌شود. اتصالات پای ستون به عنوان بخشی از اتصالات در ساختمان‌های فولادی، تأثیر مهمی بر روی رفتار این سازه دارد بنابراین وجود نقص در طراحی این قسمت، کیفیت کلی سازه را تحت تأثیر قرار خواهد داد. با پیشرفت علم مهندسی زلزله و شناخت بهتر سازه‌ها در مواجهه با اثرات لرزه‌ای، نحوه‌ی محاسبه سازه‌های فولادی و ضوابط و ضرایب مربوط به طراحی این سازه‌ها تغییر نموده است. با این حال هنوز طراحی اتصالات پای ستون در کتاب‌های محاسباتی مبتنی بر روش‌های قدیمی است. در آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌های فولادی از جمله مبحث دهم مقررات ملی، نگاه جدی به طراحی اتصال پای ستون وجود نداشته و به روش‌ها و ضوابط جدید طراحی اشاره‌ای نگردیده است.

هدف از تهیه این کتاب آشنایی دانشجویان و طراحان سازه با انواع رفتار تکیه‌گاهی اتصال پای ستون در شرایط مختلف به‌کارگیری اجزای اتصال می‌باشد. همچنین بیان روش‌های طراحی اتصالات پای ستون (طراحی به روش تنش مجاز و طراحی به روش حدی) از اهداف دیگر این کتاب است. این کتاب طراحان را در طراحی و مشخص کردن جزئیات اقتصادی اتصال پای ستون برای برآورد شرایط و نیازهای مشخص راهنمایی می‌کند.

### 1-4- محتوای کتاب

کتاب حاضر شامل هفت فصل می‌باشد که ضوابط و دستورات طراحی اتصالات پای ستون فولادی را بر مبنای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران [8] و آیین‌نامه AISC [9,10] و [11] در بر دارد. تمامی روابط و ضوابط ارائه شده در این مجموعه، بر اساس سیستم آحاد بین‌المللی SI است. روابط و روند ارائه شده، بر اساس دو حالت طراحی به روش تنش مجاز و طراحی به روش حالات حدی می‌باشد.

فصل اول، کلیات مطالب کتاب را در بر دارد. در این فصل اهمیت طراحی اتصالات در سازه‌های فولادی بیان شده، سپس بطور مختصر، اتصال پای ستون بررسی شده است.

فصل دوم مربوط به تعاریف اتصال پای ستون می‌باشد. در این فصل اجزای اتصالات پای ستون، انواع گسیختگی فولاد در پای ستون، رفتار اتصالات در پای ستون بر اساس قاب سازه‌ای، رفتار کلی اتصال پای ستون شامل اتصالات گیردار و مفصلی و تعیین نوع اتصال پای ستون بررسی شده است.

فصل سوم به طراحی اتصال پای ستون تحت تأثیر بار محوری فشاری می‌پردازد. در این فصل روابط و محدودیت‌های طراحی کف ستون، تعیین ابعاد و ضخامت کف ستون و همچنین کاهش ضخامت ورق با استفاده از سخت‌کننده‌ها و مراحل گام به گام طراحی کف ستون با بار محوری فشاری درج گردیده است.

طراحی اتصالات پای ستون با بار محوری کششی در فصل چهار کتاب ارائه شده است. در این فصل انواع گسیختگی میل مهارها تحت تأثیر کشش بررسی شده است. سپس مراحل طراحی میل مهار با قلاب انتهایی و میل مهار با مهره انتهایی بیان شده است.

فصل پنجم کتاب به طراحی اتصالات پای ستون تحت تأثیر لنگر خمشی اختصاص دارد. در این فصل دو روش طراحی بررسی شده است. 1- طراحی اتصالات پای ستون تحت تأثیر لنگر خمشی با فرض توزیع تنش فشاری یکنواخت و 2- طراحی اتصالات پای ستون تحت تأثیر لنگر خمشی با فرض توزیع تنش فشاری مثلثی.

در فصل ششم به روش طراحی اتصالات پای ستون تحت تأثیر برش پرداخته شده است. برای این منظور علاوه بر طراحی میل مهارها در برابر برش، مراحل طراحی کلید برشی نیز بیان شده است.

در فصل هفتم کتاب مثال‌های تکمیلی مربوط به طراحی اتصالات پای ستون ارائه شده است. در این فصل دو مثال تکمیلی آورده شده که یکی به طراحی در حالت حدی و دیگری برای به طراحی در حالت تنش مجاز اختصاص دارد. در این مثال‌ها طراحی اتصال پای ستون برای نیروی محوری فشاری، نیروی کششی، لنگر خمشی و نیروی برشی و همچنین استفاده از سخت‌کننده‌ها بطور کامل توضیح داده شده است.





## فصل دوم

# اتصالات پای ستون

### 2-1- مقدمه

اتصال پای ستون یکی از اتصالات مهم در سازه‌های فولادی است. این قسمت از سازه، ارتباط دهنده‌ی مستقیم ستون به شالوده بتنی است که به واسطه‌ی آن نیروهای ثقیلی و نیروهای جانبی ناشی از اثرات زلزله و باد از ورق فلزی کف ستون<sup>1</sup> و میل مهارها<sup>2</sup> به شالوده‌ی بتنی انتقال می‌یابند به طوری که تنش در محل اتکا از حد معینی تجاوز ننماید [12].

عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها باید به گونه‌ای باشد که در هنگام زلزله پایداری و انسجام سازه حفظ شده و با توجه به شکل‌پذیری کلی و شکل‌پذیری اجزا، سازه قادر به جذب و استهلاک انرژی لرزه‌ای باشد. رسیدن به عملکرد مطلوب به رفتار تمامی اجزای سازه بستگی دارد. بنابراین اتصالات (همچنین اتصال پای ستون) باید قادر به فراهم کردن هدف عملکردی سازه باشند. مشاهدات از زلزله‌های اخیر درباره‌ی وضعیت ساخت و ساز ساختمان‌های فولادی، عدم عملکرد رضایت بخش این اتصالات را به خصوص برای موارد طراحی شده با روش‌های قدیمی نشان می‌دهند. علاوه بر این موارد، پیش‌بینی رفتار اتصالات پای ستون در سازه‌های فولادی پیچیده است. زیرا طولیل شدگی بیش از حد میل مهارها، گسیختگی زودرس و پیش‌بینی نشده میل مهارها، گسیختگی برشی و شکست ترد کف ستون، شکست بتن (شامل ترک خوردگی ملات)، ترک خوردگی جوش، پلاستیک شدن (نرم شدن) پایه ستون (تشکیل مفصل در ستون)، رفتار ملات زیر کف ستون، عملکرد پیچیده‌ی سخت‌کننده‌ها و شکل توزیع تنش زیر کف ستون باعث پیچیده شدن رفتار این نوع اتصالات می‌گردد [3 و 13]. بر اساس بازبینی‌های آماری انجام شده بر روی خسارت‌های وارده بر سازه‌های فولادی، آسیب‌های نسبتاً بالایی به اتصالات پای

---

1- Base Plate

2- Anchor Bolts

ستون گزارش شده است. این موارد نشان دهنده‌ی اهمیت رسیدگی به روش‌های طراحی قابل اطمینان و بهبود شکل‌پذیری بیشتر در جزئیات اتصال پای ستون می‌باشد. اکثر قریب به اتفاق ستون‌های ساختمانی برای نیروهای کوچک در حالت محوری فشاری و یا محوری کششی طراحی می‌شوند. برای این ستون‌ها، طراحی اتصال پای ستون بصورت ساده انجام می‌شود و اغلب به میل مهارها نیازی نیست، فقط برای فراهم آوردن ایستایی ستون در هنگام نصب سازه از آن‌ها استفاده می‌شود. همچنین این نوع اتصال پای ستون قادر به انتقال نیروی برشی به شالوده بتنی می‌باشد. اگر اتصال پای ستون در حالت فشاری باقی بماند، برش می‌تواند بوسیله‌ی اصطکاک بین لایه‌ی ملات یا بتن و ورق فلزی کف ستون انتقال یابد که در این حالت نیازی به طراحی میل مهارها برای برش نخواهد بود. نیروی برشی زیاد را نیز می‌توان با قرار دادن ستون و اتصال پای ستون در بتن شالوده و یا با استفاده از صفحه برشگیر مهار نمود. اتصال پای ستون گیردار برای مقابله با نیروهای ناشی از اثرات لرزه‌ای و باد در قاب‌های ساختمانی استفاده می‌شود. در این حالت مقاومت در برابر لنگر به‌وجود آمده در پای ستون بوسیله‌ی توسعه‌ی نیروی فشاری در زیر کف ستون و نیروی کششی در میل مهارها به‌دست می‌آید.

اتصالات پای ستون بطور کلی به دو گروه تقسیم بندی می‌شوند [3]:

1- اتصالات پای ستون بدون پوشش بتنی<sup>1</sup>

2- اتصالات پای ستون پوشش‌دار (احاطه شده در بتن)<sup>2</sup>

با اینکه این تقسیم‌بندی با توجه به وضعیت قرارگیری و رابطه‌ی کف ستون با شالوده تعیین می‌شود، مطرح شدن آن بطور کلی بیانگر شناخت دو حالت تکیه‌گاهی مرسوم (مفصلی و گیردار) نیست.

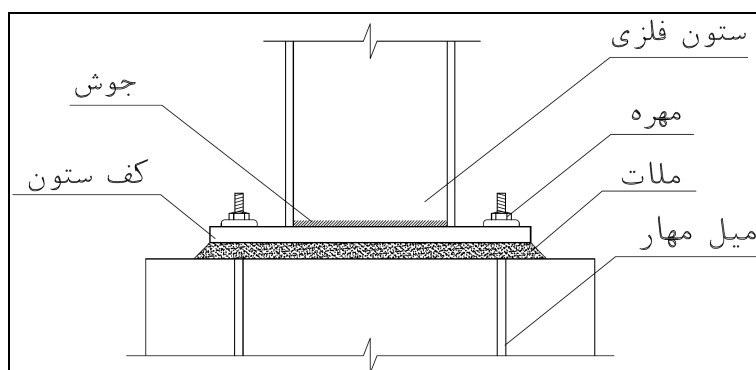
اتصالات پای ستون بدون پوشش بتنی با توجه به عملکرد کف ستون فلزی و میل مهارها برای انتقال نیروهای فشاری محوری، کششی محوری، لنگر خمشی و برش از سازه به شالوده استفاده می‌شود. در این حالت ورق فلزی کف ستون و ستون فولادی بطور کامل خارج و روی شالوده بتنی قرار می‌گیرند [7 و 14] (شکل 2-1).

اتصالات پای ستون پوشش‌دار شامل ستون‌های تماماً جاسازی‌شده در بتن مسلح یا شاه تیر می‌باشند و در آنها میله‌های مهاری برای بارهای ساخت طراحی می‌گردند. در این اتصال

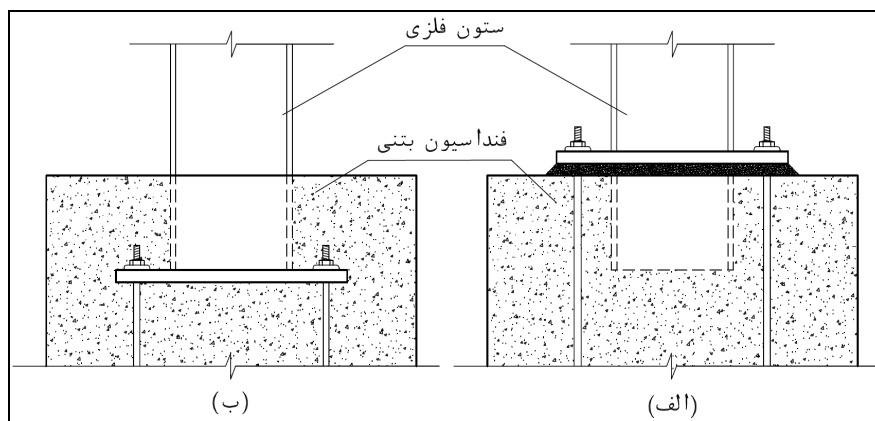
1- Exposed Column Base Plate

2- Embedded Column Base Plate

عکس‌العمل‌های خمشی، محوری و برش را پایداری ستون و اتصال پای ستون انتقال می‌دهند [3] (شکل 2-2).



شکل 2-1: اتصال پای ستون بدون پوشش بتنی



شکل 2-2: اتصال پای ستون احاطه شده در بتن شالوده (الف) احاطه شده‌ی کم عمق یا کف ستون بدون پوشش (ب) احاطه شده‌ی کامل.

با اینکه اتصالات پای ستون پوشش‌دار عملکرد بهتری برای سازه‌ها با قاب‌های مهاربندی و خمشی در مناطق لرزه خیز دارند، اکثر تحقیقات انجام شده، ضوابط ارائه شده در آیین‌نامه‌ها و راهنماهای طراحی مربوط به جزئیات اتصالات پای ستون بدون پوشش بتنی است. در این کتاب نیز منظور از اتصالات پای ستون، اتصالات بدون پوشش بتنی می‌باشد.

## 2-2- اجزای تشکیل دهنده اتصال پای ستون

منظور از طراحی اتصال پای ستون تعیین مشخصات اجزای تشکیل دهنده‌ی اتصال پای ستون است. اجزای تشکیل دهنده‌ی اتصالات پای ستون با توجه به نوع رفتار مورد استفاده از اتصال متفاوت می‌باشند. بعضی از این اجزا جزء قسمت‌های اصلی تشکیل دهنده اتصال بوده و در تمامی اتصالات پای ستون وجود دارند ولی برخی از آن‌ها بسته به شرایط و نیروهای موجود در اتصال مورد نیاز می‌باشند. اجزای تشکیل دهنده‌ی اتصال پای ستون بصورت زیر بیان می‌شود (شکل 2-1):

**1- ورق فولادی کف ستون:** این ورق از یک سمت به ستون و از سمت دیگر به عضو پشتیبان (شالوده بتنی) و یا ملات زیرین در ارتباط است. معمولاً ابعاد ورق فولادی بر اساس مقاومت بتن زیر کف ستون و ضخامت آن بر اساس خم شدگی پلاستیک در ناحیه بحرانی (فاصله بین لبه ستون و لبه کف ستون) تعیین می‌گردد. ابعاد کف ستون، به دلیل ساده و اقتصادی تر شدن برش ورق‌های موجود، معمولاً مضربی از 50 میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود، ضخامت این ورق نیز از 14 تا 30 میلی‌متر متغییر است و در برخی موارد (مانند عدم وجود سخت کننده) تا 60 میلی‌متر نیز امکان‌پذیر است [15]. باید توجه داشت که بین ابعاد کف ستون و ضخامت آن رابطه‌ی مستقیم وجود دارد به طوری که اگر ابعاد ورق فلزی نسبت به ابعاد ستون مرتبط با آن افزایش داشته باشد، ضخامت کف ستون نیز افزایش خواهد داشت. در تحقیقات علمی انجام گرفته، کف ستون‌ها بر طبق این که دارای ورق فولادی با ضخامت کمتر، بیشتر یا مساوی مقدار مورد نیاز برای تشکیل مفصل پلاستیک در ورق باشند تقسیم بندی می‌شوند. شکل 2-3، سه نمونه از تغییر شکل کف ستون‌ها را نشان می‌دهد [3].

الف) ورق فولادی ضخیم یا صلب: این اتصال بیان کننده‌ی رفتار غیر شکل‌پذیر بوده و قوی‌ترین و صلب‌ترین نوع از سه نوع رفتار ارائه شده می‌باشد. در این حالت شکست میلگردهای مهار، توسعه ترک خوردگی و گسیختگی ترد ملات محتمل است [3].

ب) ورق فولادی متوسط یا نیمه صلب: طراحی صفحات پای ستون بر اساس آیین‌نامه اکثراً منجر به ضخامت متوسط و مقاومت و سختی نیمه صلب می‌گردد. در این حالت انعطاف‌پذیری کم ورق کف ستون به همراه تغییر شکل خمشی کم می‌تواند باعث به وجود آمدن خسارت در ملات و شکست کششی میل مهارها گردد [3].