

# فصل ۵

## اعضای خمشی (تیرها)



## هدف‌های رفتاری:

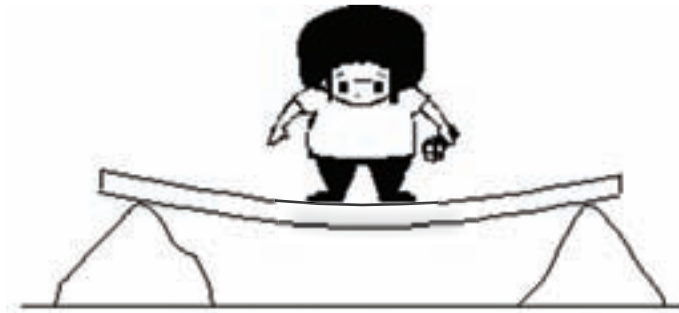
در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

۱. خمش را تعریف کند.
۲. پدیده خمش را درک کند و با مثال‌های عینی آنرا شرح دهد.
۲. پدیده‌ی کشش و فشار را در تارهای مختلف یک مقطع تحت بار خمشی نشان دهد.
۳. تیر را تعریف کند و انواع بارهای وارد بر تیر را شرح دهد.
۴. سطح بارگیر هر تیر را در سیستم‌های مختلف نمایش دهد.
۵. انواع تیرها در سازه‌های فلزی را نام ببرد.
۶. دلیل استفاده از تیرهای لانه زنبوری را شرح دهد و محاسن و معایب آنرا نام ببرد.
۷. روش‌های ساخت تیرهای لانه زنبوری را شرح دهد.
۸. تیرهای تقویت شده را تعریف کند و انواع آنرا نام ببرد.
۹. دال‌های مرکب (کامپوزیت) را شرح دهد و دلیل استفاده از آنرا توضیح دهد.
۱۰. اصطلاحات زیر را شرح دهد:  
تیر ورق ، تیرچه ، شاهتیر ، لاپه

## ۱-۵- خمش چیست؟

وقتی عضوی بین دو نقطه از دهانه قرار بگیرد، بارهای وارده با ساز و کار کشش و فشار در تارهای افقی عضو از روی دهانه به تکیه‌گاه‌ها منتقل می‌شود. به این پدیده خمش می‌گویند و نقش اساسی در باربری اعضای سازه‌ای دارد.

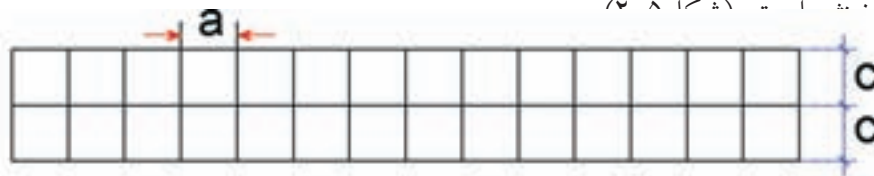
یک قطعه الوار که بر روی دو سنگ قرار گرفته است را در نظر بگیرید. (شکل ۱-۵)



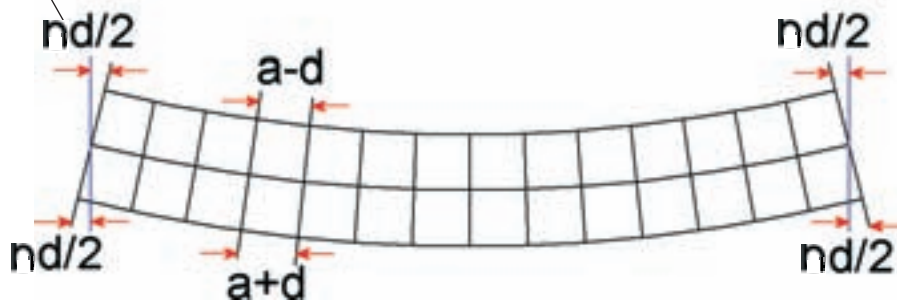
شکل ۱-۵- تیر تمت فمش

اگر پسر بچه‌ای در وسط الوار بایستد، دو انتهای الوار به طرف بالا حرکت می‌کند، در حالی که قسمتی از الوار که بین دو سنگ است به سمت پایین می‌رود. منحنی‌ای که از الوار بین دو سنگ ایجاد می‌شود قسمتی از کمان یک دایره است. با ترسیم خطهای عمودی به فواصل مساوی (a) بر کناره‌ی الوار صاف و تقسیم آن به n قسمت

مساوی مشاهده می‌شود که در هنگام خم شدن الوار چوبی فواصل خطوط در بالا کمتر و در پایین بیشتر خواهد شد. هر تیر را می‌توان متشکل از تارهایی به موازات محور طولی تیر فرض کرد که در ارتفاع نیز بر روی هم قرار گرفته‌اند، مشاهده‌ی حاصل از کاهش فواصل خطهای عمودی در بالا و افزایش آن در پایین نشان می‌دهد که تارهای بالایی کوتاه‌تر و تارهای پایینی بلندتر شده‌اند. در حالیکه تار میانی به همان اندازه‌ی سابق باقی مانده است که به تار (۱) است.



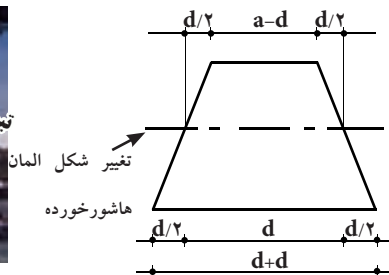
تغییر شکل کل تیر از هر دو طرف



شکل ۲-۵- میزان تغییر شکل اجزا تیر در فمش



نمونه‌ای از تیر در سازه یک پل فولادی



تغییر شکل المان  
هاشور خورده



تیرهای اصلی و فرعی یک ساقتمان فولادی

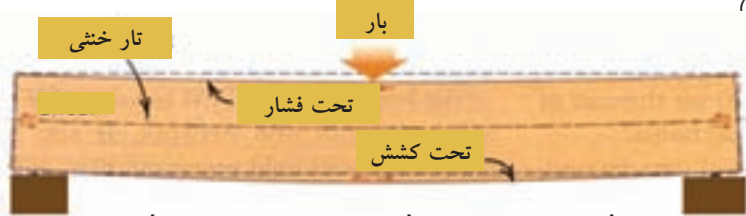
شکل ۳-۵- نمونه‌هایی از تیر در سازه‌های فولادی



شکل ۵-۵- آزمایش فمش تیر

بدین ترتیب می‌توان گفت در هنگام خمش که تغییر شکل تیر به سمت پائین است تارهای بالا تحت فشار و تارهای پایین تحت کشش قرار می‌گیرند. به تار میانی که در اثر خمش تغییر طول نداشته تار خنثی گفته می‌شود. ( شکل

۴-۵)



شکل ۵-۴- تغییر شکل تارهای تیر تحت فمش

در اثر تغییر شکل‌های ایجاد شده در تارهای تیر که ناشی از تنش‌های خمشی است، وزن پسرپچه به دو سنگی که الوار بر روی آن‌ها متکی است، انتقال داده می‌شود.

با در نظر گرفتن مقاومت فشاری اکثر مصالح ساختمانی، به طور نسبی آسان‌تر است که بارها را به صورت عمودی به زمین انتقال دهیم اما مشکل اساسی در عملکرد سازه‌ای، انتقال افقی بارهای عمودی به منظور پوشاندن دهانه بین دو تکیه‌گاه است. بدین ترتیب مشخص می‌شود که خمش از اهمیت ویژه‌ای به عنوان یک ساز و کار سازه‌ای برخوردار است.

یک مصالح ساختمانی در صورتی از نظر خمش مناسب می‌باشد که عملاً مقاومت کششی و فشاری یکسان داشته باشد. این اصل بیانگر مزیت چوب در میان مصالح سازه‌ای طبیعی و نقش بی‌رقیب و همیشگی فولاد در سازه‌های جدید است. بتن مسلح یک ماده ساختمانی ساخت بشر است که ویژگی‌های خمشی قابل مقایسه با فولاد دارد. در این مصالح از مقاومت فشاری بتن در تارهای فشاری و از مقاومت کششی فولاد در تارهای کششی یک عضو سازه‌ای استفاده می‌شود.



علل تخریب: حذف تیر آهن و استفاده از نبشی به جای آن

بیشتر بدانیم



علل تخریب: حذف ستون‌های جانبی و اجرای دیوار باربر به جای آن و حذف کلاف بندها



## ۵-۲- تعریف تیر

تیرها قطعات سازه‌ای هستند که در سازه عموماً بصورت اعضای افقی یا شیب‌دار قرار گرفته و بارهای قائم بر محور خود را به تکیه‌گاه‌ها که معمولاً ستون‌ها هستند، منتقل می‌کنند. در اثر این بارها، در لایه‌های مختلف تیر تنش کششی و فشاری ایجاد می‌شود.



انواع تیر در سافتمان‌های معمولی

## ۵-۲-۱- انواع تیرها در سازه‌های فولادی

تیر در سازه ساختمان برحسب وظیفه‌ای که برعهده دارد، به صورت زیر نامگذاری می‌گردد: (شکل ۵-۶)

۱- شاهتیر یا تیر اصلی (Girder): عضو باربر اصلی در سقف می‌باشد که بارهای وارد از تیرچه‌ها را به ستون‌ها انتقال می‌دهد.

۲- تیرچه یا تیر فرعی (Joist): تیر سبکی می‌باشد که بار سقف را به شاه‌تیرها انتقال می‌دهد.

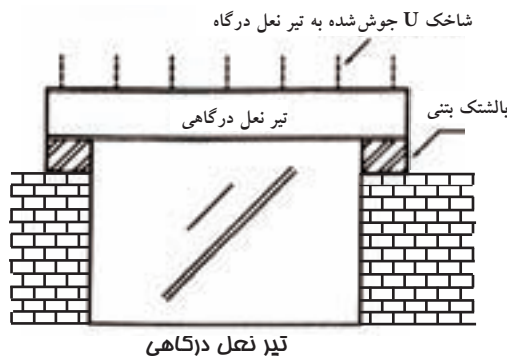
۳- نعل درگاهی (Lintel): تیری است که در بالای بازشوهای ساختمان، نظیر در و یا پنجره، قرار داده می‌شود.

۴- تیرهای لبه‌ای یا کناری (Spandrel): تیرهایی هستند که در پیرامون ساختمان قرار دارند و علاوه بر بار سقف، بار دیوارهای پیرامونی ساختمان را نیز تحمل می‌کنند و نقش کلاف‌بندی ساختمان را نیز ایفا می‌کنند.

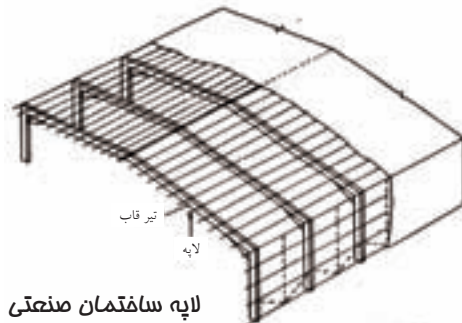
۵- لاپه (Purlin): تیر سبکی از نیم‌رخ Z یا I که از آن برای حمل بار پوشش‌های سبک در ساختمان‌های صنعتی استفاده می‌شود.

## ۵-۲-۲- تیر از نظر شرایط تکیه‌گاهی

سه نوع تکیه‌گاه متداول برای تیرها عبارت‌اند از: تکیه‌گاه غلتکی، تکیه‌گاه مفصلی (پینی) و تکیه‌گاه ثابت. تکیه‌گاه غلتکی در مقابل حرکت در جهت عمود بر محور مقاومت می‌کند، در حالی که تکیه‌گاه مفصلی در مقابل حرکت تیر در هر جهتی مقابله می‌کند. هر دو تکیه‌گاه غلتکی و مفصلی در مقابل دوران و چرخش در محل تکیه‌گاه آزاد هستند. تکیه‌گاه ثابت از حرکت و دوران تیر در هر جهتی در محل تکیه‌گاه جلوگیری می‌کند. با این وصف تیرها را بر اساس شرایط تکیه‌گاهی می‌توان به صورت ساده، پیش‌آمده (تیر ساده‌ی طره‌دار)، طره‌ای، دو سر گیر دار و ممتد (سراسری)، دسته‌بندی کرد. تیر ساده، تیری است تک‌دهانه که تکیه‌گاه‌های آن در دو انتها یکی به صورت غلتکی و دیگری مفصلی باشد. به تیری با تکیه‌گاه‌های ساده که تکیه‌گاه‌های آن الزاماً در انتهای تیر



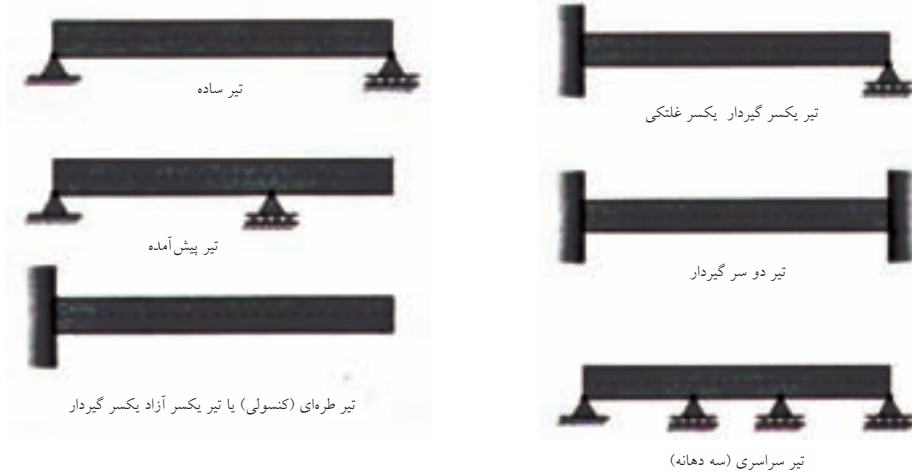
تیر نعل درگاهی



لاپه سافتمان صنعتی

شکل ۵-۶- انواع تیرها در سازه‌های فولادی

قرار نگرفته باشد، تیر پیش آمده گفته می‌شود. تیر طره‌ای به تیری گفته می‌شود که در یک انتها گیردار و در انتهای دیگر آزاد باشد. تیری که در دو انتهای خود گیردار و غیر آزاد باشد، تیر دو سر گیردار نام دارد. به تیر با بیش از دو تکیه گاه ساده، تیر ممتد یا سراسری گفته می‌شود. در شکل ۵-۷ انواع تیرها از نظر شرایط تکیه‌گاهی نشان داده شده است.



شکل ۵-۷- انواع تیر از نظر شرایط تکیه‌گاهی

### ۵-۲-۳- بارهای وارد بر تیر

تیرها بسته به محلی که در آن به کار گرفته می‌شوند، تحت تاثیر بارهای مختلفی قرار می‌گیرند که این بارها به صورت متمرکز، گسترده‌ی یکنواخت، گسترده‌ی غیر یکنواخت (خطی) و یا ترکیبی از آن‌ها می‌باشند.

|                        |  |
|------------------------|--|
| بار متمرکز             |  |
| بار گسترده یکنواخت     |  |
| بار گسترده جزئی        |  |
| بار گسترده غیر یکنواخت |  |
| بار گسترده ذوزنقه      |  |

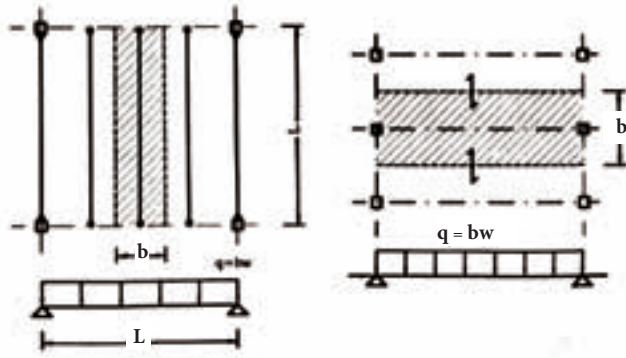
### بیشتر بدانیم



در این شکل فاصله‌ی بین عایق کاری رطوبتی (قیرگونی) تا انتهای تیر سقف حدود ۵۰ سانتیمتر اندازه‌گیری شده است. که حدود دو برابر مقدار متداول در ساختمان‌های مسکونی می‌باشد. این مسئله باعث افزایش جرم ساختمان و در نتیجه افزایش نیروی وارده به این سازه تحت اثر زمین لرزه می‌شود و به دلیل این که این افزایش جرم در راستای افزایش مقاومت نیست، لذا آسیب پذیری بنا را در برابر زمین لرزه افزایش می‌دهد.

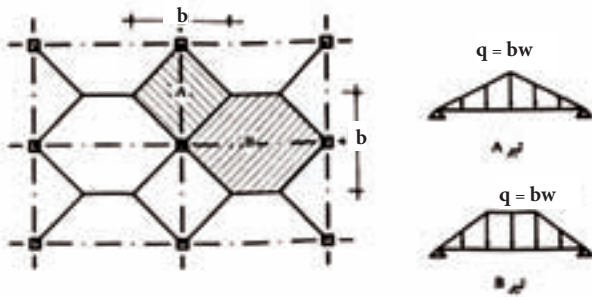
### ۵-۲-۴- سطح بارگیر تیرها

سهم هر تیر از بار سقف، مقدار باری است که در سطح بارگیر آن تیر وارد می‌شود. در شکل ۵-۸ سطح بارگیر تیرها نشان داده شده است. اگر نسبت طول به عرض دال سقف بزرگتر از ۲ باشد دال موردنظر را دال یکطرفه گویند در غیر اینصورت دال مورد نظر را دوطرفه گویند. در شاهتیرها برحسب اینکه شاهتیر بار را از دال یکطرفه و یا دوطرفه بگیرد، وضعیت فرق می‌کند. در صورتی که شاهتیر بار را از دال یکطرفه بگیرد، عرض بارگیر آن وسط به وسط دو دهانه مجاور است. در صورتی که شاهتیرها بار را از دال دوطرفه بگیرند، سطح بارگیر آنها از ترسیم نیمساز گوشه‌ها به دست می‌آید و در نتیجه بار وارد بر شاهتیر به صورت مثلثی یا دوزنقه خواهد بود.



الف - سطح بارگیر تیرچه‌ها  
W = وزن واحد سطح

ب - سطح بارگیر شاهتیرها - شاهتیر بار را از دال یکطرفه می‌گیرد



ب - سطح بارگیر شاهتیرها - شاهتیر بار را از دال دوطرفه می‌گیرد

### شکل ۵-۸ - سطح بارگیر تیرها

دال‌هایی نظیر طاق ضربی و تیرچه بلوک و دال‌های کامپوزیت (مركب) رفتار یکطرفه دارند و دال‌های بتن مسلح عموماً رفتار دوطرفه دارند. (شکل ۵-۹)



سقف دال کامپوزیت با رفتار یکطرفه



سقف تیرچه بلوک با رفتار یکطرفه

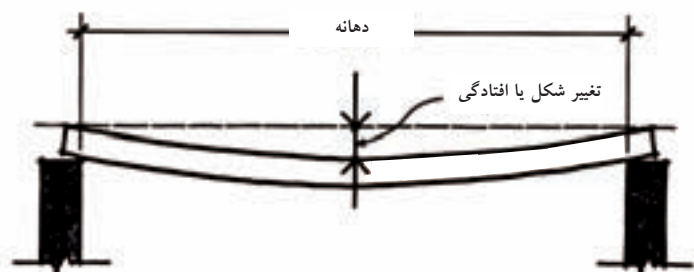


### شکل ۵-۹ - انواع دال‌های یکطرفه

۱- دال‌های کامپوزیت، دال‌های بتنی هستند که بر روی تیرچه‌های فلزی قرار دارند و بار سقف را توسط این تیرچه‌ها به شاهتیر منتقل می‌کنند. از این نوع دال در سازه‌های فولادی استفاده می‌شود.



### ۵-۲-۵- افتادگی (تغییر شکل)

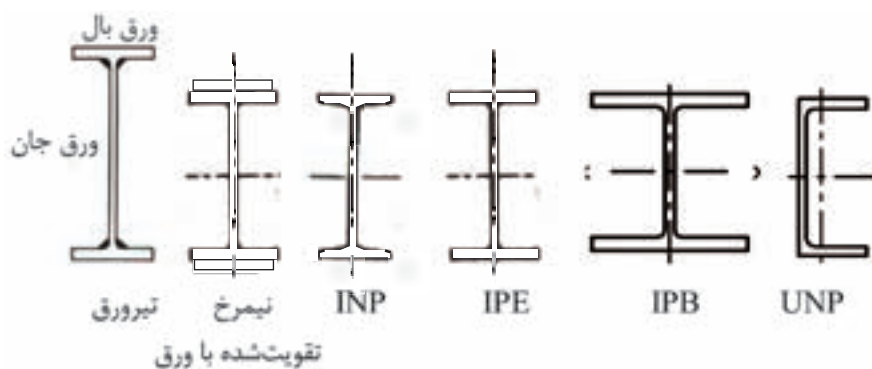


شکل ۵-۱۰- افتادگی تیر

تیرها تحت بارهای وارده بصورت شکم داده درمی آیند که به این پدیده، تغییر شکل یا افتادگی تیر می گویند (شکل ۵-۱۰). در صورتی که بار از حدی فراتر نرود، بعد از باربرداری، تیر به وضعیت اولیه درمی آید. این رفتار تیرها، رفتار ارتجاعی نامیده می شود.

### ۵-۲-۶- نیمرخ‌های مناسب برای تیرها

بدیهی است مقاطعی از نظر خمشی اقتصادی می باشند که به ازای ظرفیت خمشی مساوی، سطح مقطع و در نتیجه وزن واحد طول کمتری داشته باشند. نیمرخ‌های مورد شده از نوع IPB، INP، IPE و حتی UNP



شکل ۵-۱۱- مقاطع متعارف مورد استفاده در تیرها

جزء کاراترین نیمرخ‌ها برای خمش می باشند (شکل ۵-۱۱). وقتی که مقاومت مقاطع مورد شده در مقابل لنگر خمشی موجود کمتر باشد، آن‌ها را با اضافه نمودن اجزای بیشتر بر روی بالها مانند تسمه یا ورق، تقویت می کنند (شکل ۵-۱۱).



عدم اتصال تیرچه‌ها به تیر اصلی منجر به جدا شدن آن‌ها و تخریب سقف در اثر زلزله شده است.



اگر مقاطع تقویت شده برای بار و دهانه مورد نظر کافی نباشند، از تیرورق استفاده می شود که از دو ورق بال و یک ورق جان که بوسیله جوش بهم متصل می شوند، تشکیل می شود و به صورت نیمرخ I در می آیند.

نمره تیرهای ساخته شده از نیمرخ های نورد شده بیانگر ارتفاع مقطع تیر بر حسب میلی متر است؛ مثلاً IPE ۲۰۰ نیمرخ IPE با ارتفاع ۲۰۰ میلی متر می باشد. مشخصات هندسی نیمرخ ها در جداول اشتال وجود دارد که یک نمونه آن در شکل ۵-۱۲ ارائه شده است. مشخصات مهم ابعادی و هندسی مقطع نظیر سطح مقطع، ممان اینرسی، اساس مقطع، شعاع ژیراسیون<sup>۱</sup> و وزن واحد طول پروفیل برای هر مقطع فولاد نورد شده در اندازه های مختلف ارائه شده است.



ردیف - I PE

| اندازه استاندارد<br>برای | اندازه بر حسب میلی متر |     |      |      |    |      | A<br>cm <sup>2</sup> | G<br>kg/m | برای محور خمش                     |                                   |                      |                                   |                                   |                      |      |  |  |  |  |  |
|--------------------------|------------------------|-----|------|------|----|------|----------------------|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|------|--|--|--|--|--|
|                          | h                      | b   | s    | t    | r  | c    |                      |           | xx                                |                                   |                      | yy                                |                                   |                      |      |  |  |  |  |  |
|                          |                        |     |      |      |    |      |                      |           | S <sub>x</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>x</sub><br>cm <sup>4</sup> | r <sub>x</sub><br>cm | S <sub>y</sub><br>cm <sup>4</sup> | I <sub>y</sub><br>cm <sup>4</sup> | r <sub>y</sub><br>cm |      |  |  |  |  |  |
| I PE                     |                        |     |      |      |    |      |                      |           |                                   |                                   |                      |                                   |                                   |                      |      |  |  |  |  |  |
| 80                       | 80                     | 46  | 3.8  | 5.2  | 5  | 10.2 | 59                   | 7.84      | 6.00                              | 80.1                              | 20.0                 | 3.24                              | 8.49                              | 3.69                 | 1.06 |  |  |  |  |  |
| 100                      | 100                    | 55  | 4.1  | 5.7  | 7  | 12.7 | 74                   | 10.3      | 8.10                              | 171                               | 34.2                 | 4.07                              | 15.9                              | 5.79                 | 1.24 |  |  |  |  |  |
| 120                      | 120                    | 64  | 4.4  | 6.3  | 7  | 13.3 | 93                   | 13.2      | 10.4                              | 318                               | 53.0                 | 4.90                              | 27.7                              | 8.65                 | 1.45 |  |  |  |  |  |
| 140                      | 140                    | 73  | 4.7  | 6.9  | 7  | 13.9 | 112                  | 16.4      | 12.9                              | 541                               | 77.3                 | 5.74                              | 44.9                              | 12.3                 | 1.65 |  |  |  |  |  |
| 160                      | 160                    | 82  | 5.0  | 7.4  | 9  | 16.4 | 127                  | 20.1      | 15.8                              | 889                               | 109                  | 6.58                              | 68.3                              | 16.7                 | 1.84 |  |  |  |  |  |
| 180                      | 180                    | 91  | 5.3  | 8.0  | 9  | 17.0 | 146                  | 23.9      | 18.8                              | 1320                              | 146                  | 7.42                              | 101                               | 22.2                 | 2.05 |  |  |  |  |  |
| 200                      | 200                    | 100 | 5.6  | 8.5  | 12 | 20.5 | 159                  | 28.5      | 22.4                              | 1940                              | 194                  | 8.28                              | 142                               | 28.5                 | 2.24 |  |  |  |  |  |
| 220                      | 220                    | 110 | 5.9  | 9.2  | 12 | 21.2 | 177                  | 33.4      | 26.2                              | 2770                              | 252                  | 9.11                              | 205                               | 37.3                 | 2.48 |  |  |  |  |  |
| 240                      | 240                    | 120 | 6.2  | 9.8  | 15 | 24.8 | 190                  | 39.1      | 30.7                              | 3890                              | 324                  | 9.97                              | 284                               | 47.3                 | 2.69 |  |  |  |  |  |
| 270                      | 270                    | 135 | 6.6  | 10.2 | 15 | 25.2 | 219                  | 45.9      | 36.1                              | 5790                              | 429                  | 11.2                              | 420                               | 62.2                 | 3.02 |  |  |  |  |  |
| 300                      | 300                    | 150 | 7.1  | 10.7 | 15 | 25.7 | 248                  | 53.8      | 42.2                              | 8360                              | 557                  | 12.5                              | 604                               | 80.5                 | 3.35 |  |  |  |  |  |
| 330                      | 330                    | 160 | 7.5  | 11.5 | 18 | 29.5 | 271                  | 62.6      | 49.1                              | 11770                             | 713                  | 13.7                              | 788                               | 96.5                 | 3.55 |  |  |  |  |  |
| 360                      | 360                    | 170 | 8.0  | 12.7 | 18 | 30.7 | 296                  | 72.7      | 57.1                              | 16270                             | 904                  | 15.0                              | 1040                              | 123                  | 3.79 |  |  |  |  |  |
| 400                      | 400                    | 180 | 8.6  | 13.5 | 21 | 34.5 | 331                  | 84.5      | 66.3                              | 23130                             | 1160                 | 16.5                              | 1320                              | 148                  | 3.95 |  |  |  |  |  |
| 450                      | 450                    | 190 | 9.4  | 14.6 | 21 | 35.8 | 378                  | 98.8      | 77.6                              | 33740                             | 1500                 | 18.5                              | 1680                              | 176                  | 4.12 |  |  |  |  |  |
| 500                      | 500                    | 200 | 10.2 | 16.0 | 21 | 37.0 | 426                  | 116       | 90.7                              | 48200                             | 1930                 | 20.4                              | 2140                              | 214                  | 4.31 |  |  |  |  |  |
| 550                      | 550                    | 210 | 11.1 | 17.2 | 24 | 41.2 | 487                  | 134       | 106                               | 67120                             | 2440                 | 22.3                              | 2670                              | 254                  | 4.45 |  |  |  |  |  |
| 600                      | 600                    | 220 | 12.0 | 18.0 | 24 | 43.0 | 514                  | 156       | 122                               | 92080                             | 3070                 | 24.3                              | 3390                              | 308                  | 4.66 |  |  |  |  |  |



شکل ۵-۱۲- نمونه ای از جدول مشخصات تیرهای با مقطع IPE در جداول اشتال

کتاب جداول پروفیل های اشتال



۱- این مفاهیم در درس ایستایی مورد بحث قرار گرفته اند.

### ۳-۵- شاهتیرها یا تیرهای اصلی (Girder)

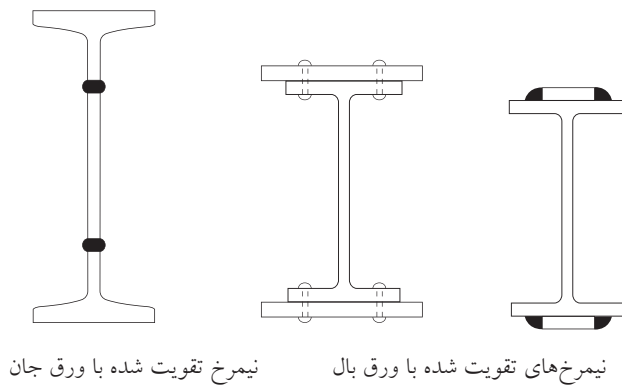
شاهتیرها اعضای فلزی افقی اصلی هستند که با اتصالات لازم به ستون‌ها متصل می‌شوند و به وسیله آن‌ها بار طبقات به ستون‌ها انتقال می‌یابد. شاهتیرهای فلزی ممکن است به صورت‌های زیر به کار روند:

الف) تیر آهن معمولی به صورت تک یا جفت

ب) تیر آهن بال پهن

پ) تیر آهن معمولی با ورق تقویتی روی بال‌ها و یا جان

تیری که از تقویت بال پروفیل نورد شده استاندارد با ورق به روش جوشی یا پیچی ساخته می‌شود، تیر آهن معمولی با ورق تقویتی روی بال نامیده می‌شود. همچنین می‌توان با بریدن پروفیل‌های رایج (IPE) از وسط جان تیر و اتصال صفحه و ورق مناسب به دو قسمت بریده شده، تیر را تقویت کرد. این روش برای پروفیل‌های نمره ۲۰ به بالا اقتصادی خواهد بود. (شکل ۵-۱۳ و ۵-۱۴)



نیمرخ تقویت شده با ورق جان

نیمرخ‌های تقویت شده با ورق بال

شکل ۵-۱۴- انواع تیرهای تقویت شده با ورق



شکل ۵-۱۳- جوش‌کار در حال جوش‌کاری ورق تقویتی نیمرخ استاندارد تقویت شده

**بیش‌تر بدانیم**

برای نیمرخ‌های ساخته شده از ورق  
حد اکثر رواداری مجاز برای ارتفاع  
و عرض نیز ۲ میلی متر می‌باشد.

$H+2mm$   
 $B+2mm$

۱- تنش مجاز خمشی فولادهای نمره St 37 حدود  $Kg/cm^2$  ۱۴۴۰ است.

## ت) تیرورق (Plate Girder):

ورق‌های ضخیم را نمی‌توان با فرم دادن به شکل نیمرخ درآورد. در چنین حالاتی ورق‌های بال و جان را در عرض‌های مورد نظر بریده و توسط جوش به یکدیگر متصل می‌کنند تا نیمرخ دلخواه حاصل گردد. به چنین مقطعی، تیرورق گفته می‌شود. (شکل ۵-۱۵)



شکل ۵-۱۵- شاهتیرهای ساخته شده از تیر ورق

## ۴-۵- تیرچه‌ها یا تیرهای فرعی (joists):

تیرچه‌ها اعضای افقی فرعی هستند که به شاهتیرها متصل شده و بار سقف را به شاهتیرها منتقل می‌کنند. در صورتیکه سقف ساختمان از نوع طاق ضربی و یا مرکب (کامپوزیت) باشد، لازمست تیرچه‌ها به فواصل ۱ تا ۱/۵ متر در حد فاصل شاهتیرها انداخته شود. (شکل ۵-۱۶)

تیرچه‌ها عموماً از نیمرخ‌های نورد شده‌ی سبک IPE یا INP یا به صورت لانه‌زنبوری ساخته می‌شوند.



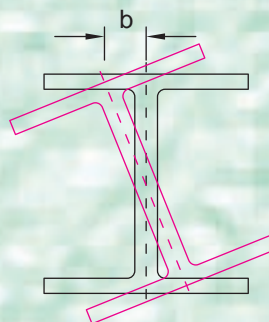
نمونه قرارگرفتن تیرچه‌ها در طاق ضربی



نصاب اسکلت در حال نصب تیرچه‌ها در سقف کامپوزیت

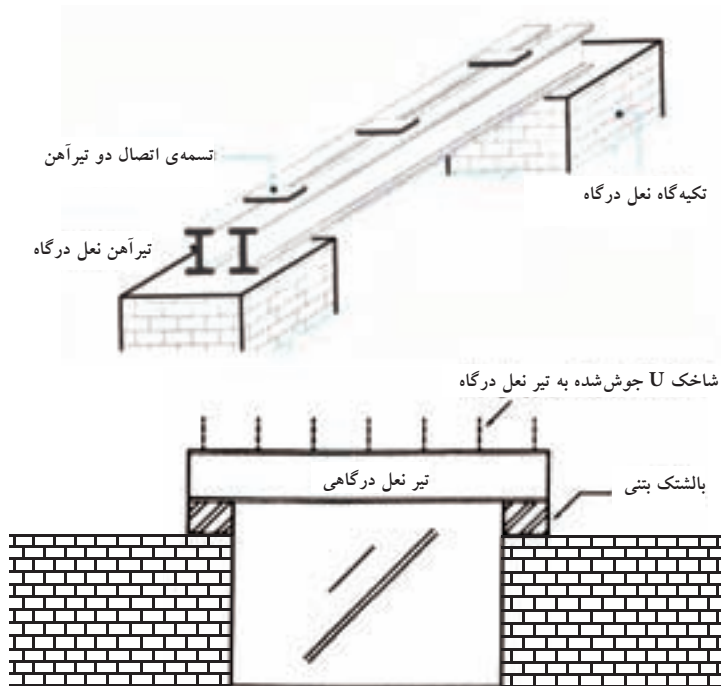
شکل ۵-۱۶- استفاده از تیرچه‌ها در سازه‌ی فولادی

## پیش‌تر بدانیم



برای تیرهای ساخته شده از ورق پیچیدگی تیر به کمک شاقول بایستی اندازه‌گیری شود و مقدار آن ( $b$ ) از ۳ میلی‌متر تجاوز نکند.





شکل ۵-۱۷- جزئیات اتکا و انسجام تیر نعل درگاهی

### ۵-۵- تیرهای نعل درگاهی (Lintel):

در صورت وجود بازشو در دیوار به منظور تعبیه‌ی در و پنجره، لازم است برای حفظ ایستایی دیوار آجری فوقانی، تیری در بالای بازشو قرار گیرد. (شکل ۵-۱۸) که به آن تیر نعل درگاهی (Lintel) گویند. حداقل اتکای تیر نعل درگاهی در دو تکیه‌گاه کناری ۲۰ سانتیمتر می‌باشد و لازم است بالشتک بتنی نیز در نقاط تکیه‌گاهی تعبیه گردد. برای حفظ انسجام دیوار در هنگام زلزله، از شاخک‌های منسجم کننده تیر نعل درگاهی به دیوار استفاده می‌شود (شکل ۵-۱۷).



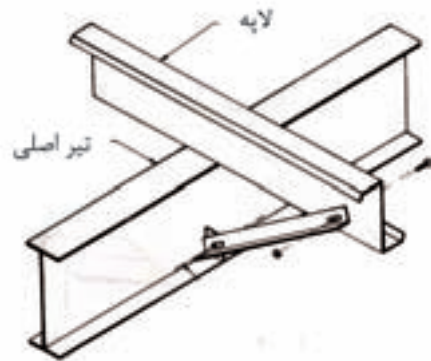


### ۵-۶- تیرهای لبه‌ای یا کناری (Spandrel):

تیرهایی هستند که در پیرامون ساختمان قرار داشته و علاوه بر بار سقف، بار دیوارهای پیرامونی ساختمان را نیز تحمل می‌کنند.

### ۵-۷- لایه (Purlin):

تیر سبکی از نیمرخ Z و یا (UNP) که از آن برای حمل بار پوشش‌های سبک در ساختمان‌های صنعتی (سقف‌های شیب‌دار) استفاده می‌شود. (شکل ۵-۱۸ و ۵-۱۹)



شکل ۵-۱۸- نمونه قرارگیری لایه در یک سازه صنعتی



شکل ۵-۱۹- لایه جهت نصب پوشش در ساختمان صنعتی

### ۵-۸- تیرهای لانه زنبوری

دلیل نامگذاری تیرهای لانه زنبوری، شکل این تیرها پس از عملیات ساخت آن‌هاست. همان‌طور که در شکل ۵-۲۰ دیده می‌شود. این‌گونه تیرها در طول خود دارای حفره‌های توخالی (درجان) هستند که به لانه‌ی زنبور شبیه است؛ به همین سبب، به این تیرها تیر لانه‌زنبوری می‌گویند.



### ۵-۸-۱- هدف از ساخت تیر لانه‌زنبوری

هدف از ساخت این نوع تیر این است که بتواند ممان خمشی بیشتری را با خیز (تغییر شکل) نسبتاً کم، و وزن کمتر در مقایسه با تیر نورد شده‌ی مشابه تحمل کند؛ برای مثال، ارتفاع پروفیل IPE ۱۸۰ را که ۱۸ سانتی‌متر ارتفاع دارد، می‌توان تا ۲۷ سانتی‌متر افزایش داد.

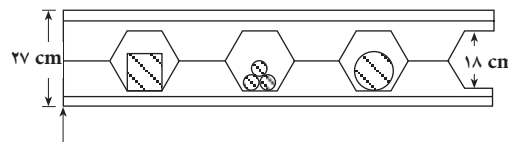
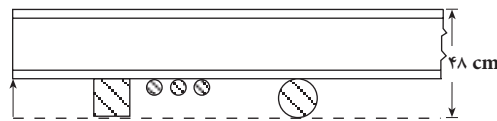


### ۵-۸-۲- محاسن و معایب تیر لانه‌زنبوری

با تبدیل تیر آهن معمولی به تیر لانه‌زنبوری، مقاومت خمشی مقطع تیر افزایش می‌یابد. در نتیجه، تیر حاصل شده با ارتفاع بیشتر، قویتر و هم‌وزن تیر اصلی خواهد شد. همچنین با کم شدن وزن مصالح و سبک شدن تیر، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر خواهد بود. علاوه بر این از فضاهای ایجاد شده (حفره‌ها) در جان تیر می‌توان لوله‌های تأسیساتی و برق را عبور داد. (شکل ۵-۲۱)



شکل ۵-۲۰- سافت تیرهای لانه زنبوری و نصب آن‌ها



شکل ۵-۲۱- عبور لوله‌های تأسیساتی و برق از حفره‌های جان تیر لانه زنبوری

در ساخت تیر لانه‌زنبوری که منجر به افزایش ارتفاع تیر می‌شود، باید استاندارد کاملاً رعایت گردد؛ در غیر این صورت، خطر خراب شدن تیر زیر بار وارد شده حتمی است.

از جمله معایب تیر لانه‌زنبوری، وجود حفره‌های آن است که نمی‌تواند تنشهای برشی را در محل تکیه‌گاه تیر به ستون و یا اتصال تیر آهن تودلی (تیر فرعی) به تیر لانه زنبوری تحمل کند؛ بنابراین، برای رفع این نقص، اقدام به پرکردن بعضی حفره‌ها با ورق فلزی و جوش می‌کند تا اتصال بعدی تیر به ستون یا تیر فرعی به پل به درستی انجام شود. (شکل ۵-۲۲)



دستگاه برش



نمونه برش تیر آهن



جوشکاری کامل دوطرف تیر لانه‌زنبوری

شکل ۵-۲۲- مراحل ساخت تیر لانه‌زنبوری

### ۵-۸-۳- روش‌های مختلف برش تیر آهن

۱- برش به روش کوپال: با استفاده از دستگاه قطع کن سنگین که به گیوتین مخصوص مجهز است، تیر آهن به شکل سرد در امتداد خط منکسر قطع می‌شود.  
 ۲- برش به روش برنول: برش در این حالت به صورت گرم انجام می‌گیرد؛ به این صورت که کارگر ماهر برش را با شعله بنفش رنگ قوی حاصل از گاز استیلن و اکسیژن، به وسیله لوله برنول، انجام می‌دهد. بریدن تیرهای سبک به وسیله ماشین‌های برش اکسیژن شابلن‌دار نسبتاً ساده است. در ایران تیرهای لانه‌زنبوری را بیشتر با دست تهیه می‌کنند.

### ۵-۸-۴- روش ساخت تیر لانه‌زنبوری و تقویت آن

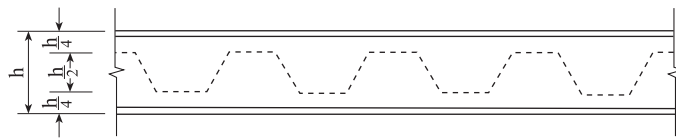
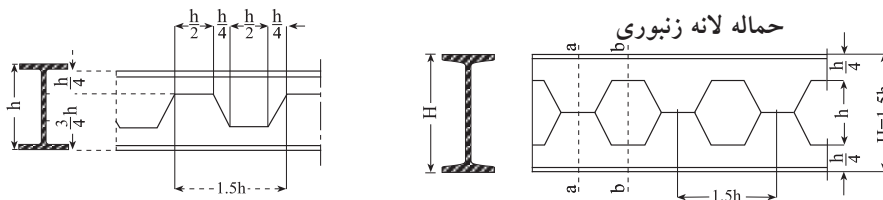
برای تهیه تیرهای لانه زنبوری، ابتدا در جان تیر آهن نورد شده با استفاده از الگو که به صورت نصف شش ضلعی از ورق آهن سفید یک میلیمتری (شابلن) با توجه به استاندارد ساخته شده علامت گذاری می‌شود؛ سپس تیر آهن را در نقاط مختلف آن برای جلو گیری از تاب برداشتن بر روی یک شاسی افقی با زدن تک خال جوش مستقر می‌کنند. آن‌گاه با استفاده از دستگاه برش گرمایی (برنول) در امتداد خط منکسر اقدام به برش می‌کنند تا پروفیل به دو قسمت ۱ و ۲ (شکل ۵-۲۲ و ۵-۲۳) تقسیم شود.

حال باید قسمت ۱ را به اندازه یک دندانه جابجا کرده و دندانه‌های دو قسمت را با دقت مقابل هم قرار دهیم و از دو طرف، کارگر ماهر آن را جوشکاری کند. استفاده از جوش قوسی نیمه اتوماتیک برای اتصال دو

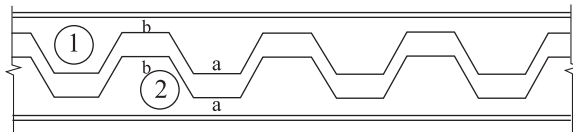


ادامه شکل ۵-۲۲- جوشکاری ممل اتصال دونیمه

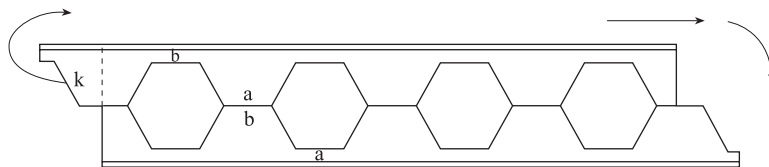
نیمه‌ی بریده شده، یک جوش خوب، بی‌عیب، سریع و مقرون به صرفه ایجاد خواهد کرد. همان‌طور که گفته شد، تیر ساخته شده در محل تکیه‌گاه با توجه به حفره‌های خالی آن در مقابل تنش‌های برشی ضعیف می‌شود. برای جبران این نقیصه، با توجه به منحنی نمایش نیروی برشی بایستی در محل ضعف، حفره‌ها با ورق‌های تقویتی پر شود. لازم به ذکر است که حداقل باید یک حفره در تکیه‌گاه با ورق به وسیله جوش کامل پر شود. (شکل ۵-۲۴)



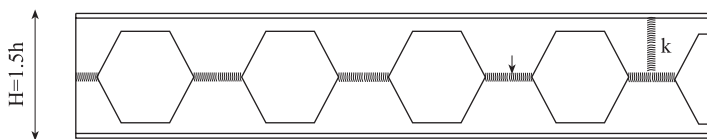
روش خط منکسر برای برش



برش و جدا سازی پروفیل



استقرار دو بدنه بر روی یکدیگر

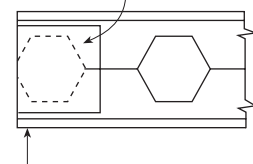


جوشکاری قطعات

شکل ۵-۲۳- روش ساخت تیر لانه زنبوری

ورق تقویت

کننده‌ی جان



شکل ۵-۲۴- ورق تقویت جان

تیر لانه زنبوری

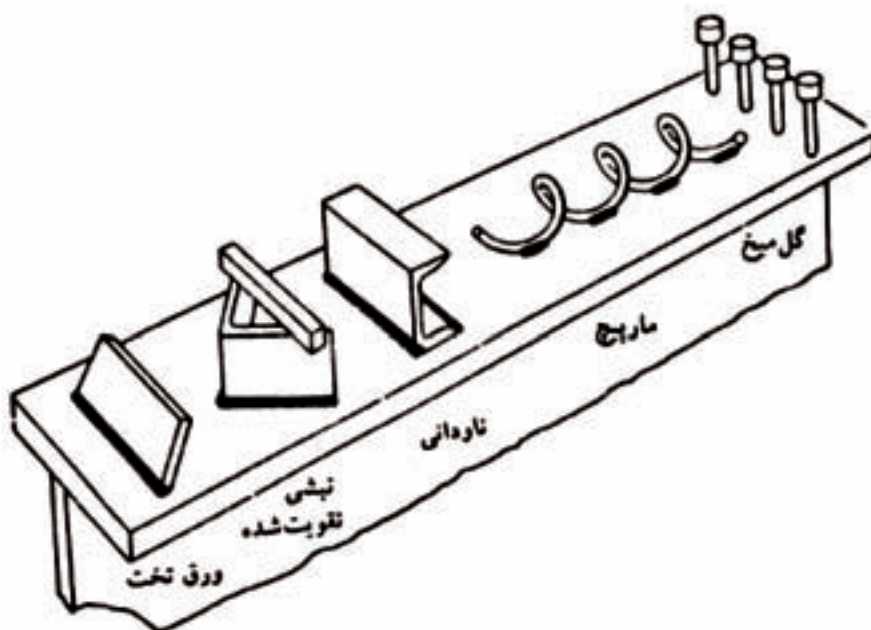


### ۵-۹- دال‌های مرکب (کامپوزیت)

با استفاده از اتصالات برشی مناسب می‌توان پوشش‌های بتنی را به بال فوقانی تیرها و شاهتیرهای فلزی یکپارچه نمود. این عمل موجب می‌شود که پوشش بتنی با تیر فولادی تشکیل تیر مرکبی بدهد که دارای سختی و مقاومت خمشی بیشتری نسبت به تیر فولادی اولیه می‌باشد. در سقف‌های کامپوزیت، (شکل ۵-۲۵) پوشش بتنی جزئی از بال فشاری تیر شده، در نتیجه تار خنثی مقطع به طرف بالا حرکت کرده و ظرفیت کششی در زیر تار خنثی افزایش پیدا می‌کند. چنین طرحی، باعث کاهش سطح مقطع تیر فولادی و وزن واحد طول آن می‌شود و چون پوشش بتنی به منزله سقف ساختمان عمل می‌نماید، بنابراین تنها اتصالات برشی که جهت برقراری اتصال بتن و بال فوقانی تیر بکار می‌رود، مقداری مخارج اضافه ایجاد می‌کند. امروزه از اتصالات برشی گوناگونی استفاده می‌شود که تعدادی از آنها در شکل ۵-۲۶ نشان داده شده است.



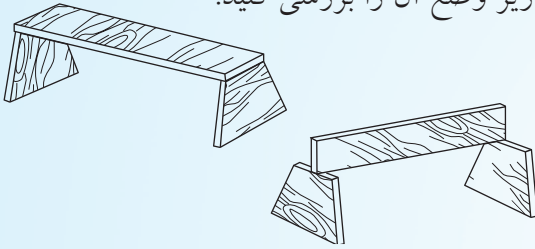
شکل ۵-۲۵- مراحل اجرای سقف کامپوزیت



شکل ۵-۲۶- انواع اتصالات برشی که روی بال فوقانی تیر جوش می‌شوند.

## به این پرسش‌ها پاسخ دهید:

۱ - تخته‌ی چوبی نازکی را در نظر بگیرید و در دو حالت زیر وضع آن را بررسی کنید:



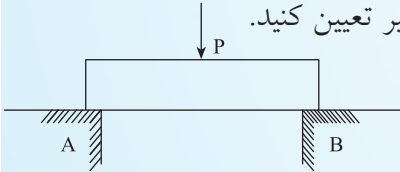
الف) در حالتی که تخته به صورت افقی قرار گیرد

ب) در حالتی که تخته بصورت عمودی قرار گیرد.

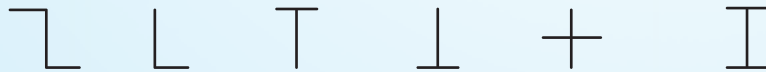
در کدام حالت خم کردن آن راحت‌تر است؟

۲ - به نظر شما دلیل لانه زنبوری کردن تیرهای فولادی چیست؟

۳ - قطعه‌ای اسفنج را مطابق شکل زیر روی دو تکیه‌گاه A و B قرار می‌دهیم و با دست نیرویی بر آن وارد می‌کنیم، ملاحظه می‌کنیم در قسمت بالای اسفنج سوراخ‌ها کوچک‌تر و در قسمت پایین سوراخ‌ها بزرگ‌تر می‌شوند. محل تأثیر نیروهای داخلی (کشش - فشار) را روی تیر تعیین کنید.



۴ - تیرهایی تهیه کنید که سطح مقطع آن‌ها مطابق شکل‌های زیر باشد. سپس هر یک را روی دو تکیه‌گاه A و B مطابق شکل پرسش ۳ با ارتفاع ثابت  $h$  قرار دهید و به آن‌ها بار وارد کنید. و نتیجه‌ی آزمایش را از نظر تحمل مقاومت خمشی و پایداری و مصرف مصالح با هم مقایسه نمایید.



۵ - به شاهتیرها و تیرچه‌های پوشش یک اسکلت فولادی نگاه کنید (با کمک معلم خود) و گزارش فنی در مورد مسائل اجرایی آن تهیه نمایید.

۶ - انواع تیر در سازه‌های فولادی را از نظر محل قرارگیری در سازه و از نظر شرایط تکیه‌گاهی بیان کنید؟

۷ - رفتار یک طرفه و دوطرفه در سقف به چه معناست؟ مثال بزنید؟

۸ - نیمرخ‌های مناسب برای تیرها را شرح دهید؟

۹ - اعضای افقی اصلی و فرعی ساختمان‌های فلزی چه نام دارند؟

۱۰ - مزایای استفاده از سقف کامپوزیت چیست؟

۱۱ - انواع تیرها در سازه‌های فلزی را نام ببرید.

۱۲ - دلیل استفاده از تیرهای لانه زنبوری را شرح دهید و محاسن و معایب آن را نام ببرید.

۱۳ - سطح بارگیر هر تیر را در سیستم‌های مختلف نمایش دهید.

۱۴ - تیرهای تقویت‌شده و مرکب (کامپوزیت) و دلیل استفاده از آن‌ها را شرح دهید.