

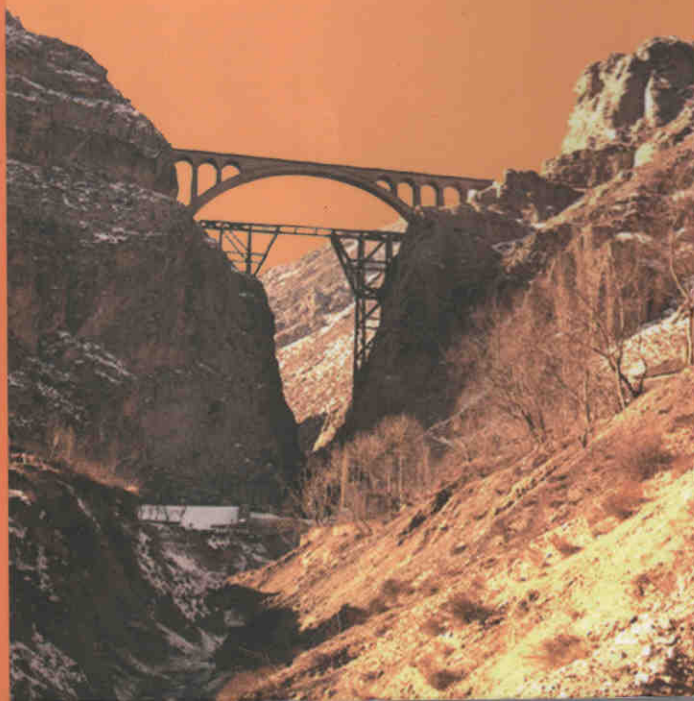


3<sup>rd</sup> International  
Conference on Bridges

چکیده مقالات

سومین همایش بین المللی پل  
بهسازی لرزه ای پلها

۹ - ۷ خرداد ۱۳۸۷



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پاس تکنیک تهران)



به همراه CD  
متن کامل مقالات

## روشهای ترمیم سریع و موقت پلهای آسیب دیده از زلزله

دکتر منصور قلعه نوی، استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان

ghalehnovi@yahoo.com

علی سالار، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه سیستان و بلوچستان

ali.salar.62@gmail.com

### چکیده:

یکی از پیامدهای زلزله می تواند خرابی پلها و عدم کفایت آنها باشد. به دلیل ضرورت استفاده از پلها بعد از زلزله، ترمیم سریع و موقت آنها موضوع بسیار مهمی می باشد. علاوه بر این بررسی، روشهای تقویت کوتاه مدت پلها برای کفایت در برابر بارهای بیش از بار طراحی در موارد خاص و پیشبینی نشده حائز اهمیت است. به دلیل بزرگ بودن دهانه پلها، مولفه شتاب قائم زلزله و بارهای بیش از حد وارده باعث ایجاد خرابی در اثر تغییر شکل های خمشی و یا نیروی برشی زیاد می شود. با توجه به نوع خسارت وارده لازم است راه حل هایی نظیر سیستم های مرمت یا تقویت پلها را مورد بررسی قرار داد. خرابی ها می توانند از نوع کششی، فشاری و یا برشی باشند. در صورتی که قسمت فشاری در مقطع تحت خمش کفایت لازم را نداشته باشد می توان با جوش دادن ورقهای فولادی، چسباندن ورقهای FRP و یا سیستم کابلهای تحت کشش بوسیله جکهای مخصوص استفاده کرد. برای تقویت برشی نیز می توان با جوش دادن ورق به جان، چسباندن ورقهای FRP به جان و یا پیچیدن آن به دور مقطع استفاده نمود. در حالتی که تغییر شکلهای قابل توجهی بوجود آمده باشد، برای ترمیم مقاطع آسیب دیده از زلزله نمی توان به راحتی از تمام روشهای ذکر شده استفاده کرد و لازم است مقطع به شکل اولیه برگردد و سپس ترمیم با روش مورد نظر انجام شود. در این مقاله بعد از معرفی و بررسی سیستم های کابلی جهت بازگرداندن مقطع به شکل اولیه، سیستم های ترمیم و مقاوم سازی نیز بررسی می شود. در این تحقیق نشان داده می شود که استفاده از سیستم کابلی برای بازگرداندن مقطع به شکل اولیه، جهت تعمیر مناسب بوده و علاوه بر آن توانایی آنرا دارد که باعث کاهش لنگر در مقطع بحرانی شده و توان باربری را بالا ببرد. البته کنترل برش نیز جزو مواردی است که برای جلوگیری از خرابی برشی بایستی مورد توجه قرار گیرد.

## روشهای ترمیم سریع و موقت پلهای آسیب دیده از زلزله

دکتر منصور قلعه نوی\*؛ علی سالار\*\*

### چکیده

برای ترمیم پلهای آسیب دیده و یا مقاومسازی پلهای موجود روشهای گوناگونی متداول هستند که عبارتند از: جوش دادن ورقهای فولادی، چسباندن ورق های FRP، پیچیدن الیاف GFRP به دور مقطع و استفاده از میلگرد و بتن. هرکدام از این روشها متناسب با نوع پل و نوع خرابی قابل استفاده هستند. معایب اصلی این روشها عبارتند از اولاً: زمان زیادی صرف ترمیم پل می شود. ثانیاً: مقطع مورد نظر باید به شکل اولیه بازگردد. امروزه در دنیا با استفاده از کابلهای پسکشیده به گونه ای می توان پل را تقویت کرد که در کمترین زمان و بدون نیاز به بازگرداندن مقطع به شکل اولیه ترمیم یا تقویت انجام شود. روشهای پسکشیدگی انواع مختلفی دارند که متناسب با نوع پل و نوع خرابی یکی از آنها انتخاب می شود. کاربرد روشهای پسکشیدگی عبارتند از: ترمیم و مقاومسازی پل، تقویت کوتاه مدت برای تحمل بار های بیش از حدود طراحی، بازگرداندن پل آسیب دیده به شکل اولیه، کاهش نیروهای داخلی در عضوهای بحرانی.

**واژه های کلیدی:** زلزله، پل، ترمیم، مقاومسازی، پسکشیدگی، کابل، FRP

### ۱- مقدمه

یکی از پیامدهای زلزله می تواند خرابی پلها و عدم کفایت آنها باشد. به دلیل ضرورت استفاده از پلها بعد از زلزله ترمیم سریع و موقت آنها موضوع بسیار مهمی می باشد. علاوه بر این موضوع، روشهای تقویت کوتاه مدت و بلند مدت پلها برای کفایت در برابر بارهای بیش از بار طراحی بررسی می شود. برای ترمیم پلهای آسیب دیده و یا مقاومسازی پلهای موجود روشهای گوناگونی متداول هستند که عبارتند از: جوش دادن ورقهای فولادی، چسباندن ورق های FRP، پیچیدن الیاف GFRP به دور مقطع و استفاده از میلگرد و بتن.

هرکدام از این روشها متناسب با نوع پل و نوع خرابی استفاده می شوند. به دلیل وجود تغییر شکلها، برای ترمیم مقاطع آسیب دیده از زلزله نمی توان به راحتی از تمام روشهای ذکر شده استفاده کرد و لازم است مقطع به شکل اولیه برگردد و سپس ترمیم با روش مورد نظر انجام شود. مدت زمان لازم

\* استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان : ghalehnovi@yahoo.com  
(ghalehnovi@eng.usb.ac.ir).

\*\* دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان : ali.salar.62@gmail.com

برای ترمیم یا مقاومسازی پارامتر بسیار مهمی است که باید در انتخاب هر روش مورد نظر قرار داد. با توجه به موارد ذکر شده روشهایی مناسب تر هستند که بتوان در کوتاهترین زمان پل را ترمیم یا تقویت کرد و دیگر نیازی به بازگرداندن پل به شکل اولیه وجود نداشته باشد. روش پسکشیدگی خارجی روشی است که از سال ۱۹۵۰ برای مقاومسازی پلهای موجود استفاده می شود. بیشترین استفاده این روش به مواردی برمی گردد که اولاً: بارهای وارده بیش از بار طراحی باشد. ثانیاً: به دلیل خرابی بعضی قسمتها پل کفایت لازم را برای تحمل نیروهای وارده نداشته باشد. با توجه به نوع تقویت مورد نیاز روش مناسب برگزیده می شود. تعداد زیادی از پلهای دنیا با این روشها تقویت شده اند به عنوان مثال به چند مورد اشاره می شود. پلهای Kemalaka Gede و Condet در کشور اندونزی که پل اول در سال ۱۹۷۳ ساخته و در سال ۱۹۹۵ مقاومسازی شد و پل دوم در سال ۱۹۸۹ ساخته شد و در سال ۱۹۹۴ مقاومسازی شدند. دلیل مقاومسازی پل اول افزایش بار مره ناشی از آسفالت و تاسیسات بود و پل دوم به دلیل افزایش ترافیک عبوری [۶]. پل شماره ۱۴۱۳۹۰۳،۰ s در ایالت Iowa آمریکا با میلگردهای FRP پسکشیده شده مقاومسازی شد [۴].

با توجه به گوناگونی پلها از نظر جنس مصالح و شکل سازه ای و مدلهاى مختلف خرابی و ضعف ، به صورتهای گوناگونی می توان از روشهای پسکشیدگی استفاده کرد. تعدادی از این روشها الگو برداری شده از کارهای قبلی می باشند و بعضی دیگر روشهای پیشنهادی می باشند. هر کدام از این روشها مزایا و مشکلات خاص خودشان را دارند که متناسب با شرایط روش مناسب انتخاب می شود. علاوه بر اینکه روشهای پسکشیدگی به تنهایی قابل استفاده می باشند می توان با استفاده از این روشها سازه آسیب دیده را به شکل اولیه بازگرداند تا بتوان مقطع آسیب دیده را ترمیم کرد. روشهای پسکشیدگی می توانند بطور همزمان با روشهای متداول دیگر استفاده شوند.

اصل استفاده از کابلهای پسکشیده به این دلیل است که عضوهایی فشاری کشیده شوند و عضوهایی کششی فشرده شوند. با این کار زمانی که بار به سازه اعمال می شود تنش موجود عضوها کاهش پیدا می کند و از خیز سازه کاسته می شود. در بعضی موارد لنگر خمشی منفی متمرکز به سازه وارد می شود و شکل دیگر به گونه ای می باشد که با استفاده از روشهای پسکشیدگی سازه رو به بالا هل داده می شود.

با استفاده از روشهای استاتیکی و تحلیلی میزان تاثیر کشش کابل در هر روش محاسبه شده و مقدار نیروی محوری، نیروی برشی و لنگر خمشی وارده به سازه بدست آمد. برای بررسی صحت نتایج با استفاده از نرم افزار SAP2000 ابتدا پلها تحت بار قرار گرفته شدند و میزان نیروهای داخلی و خیز سازه بدست آمد ، سپس با مدل کردن کابل های کشیده شده نیروی داخلی در عضوهایی مورد نظر و خیز کل سازه کاهش یافت و درستی نتایج اثبات شدند.

## ۲- انواع سیستمهای پسکشیدگی:

سیستم های تقویت و بازگردانی به شکل اولیه سازه ها به ۲ نوع متصل و منفصل تقسیم می شوند که هر کدام بصورت جداگانه توضیح داده میشوند [۱].

### ۲-۱- سیستم های متصل پسکشیدگی:

در این نوع از سیستم ها لازم است عضوهایی به سازه اصلی متصل شوند . باید نیروها به دقت مورد

مطالعه قرار گیرند، چرا که مقطع عضوها و اتصالات آنها با استفاده از این نیروها طراحی می شوند.

۱-۱-۲ دو دستک به قسمت زیرین پل اضافه می شود، یک کابل مطابق شکل ۱-۲-۱ از زیر پل عبور داده میشود و سپس توسط جک در کابل نیروی کشش  $F$  ایجاد می شود. نحوه قرار گیری قطعات، نیروهای بوجود آمده و میزان لنگر بوجود آمده در شکل ۱-۲-۱ نمایش داده شده است.

با این کار لنگرهای  $M_1$  ,  $M_2$  نیز باید با لنگر موجود  $M$  جمع شوند و بخاطر منفی بودن لنگرهای  $M_1, M_2$ ، لنگر موجود کل کاهش می یابد.

$$M = M + M_1 + M_2 = M - aF \sin x - hF(1 - \cos x)$$

۲-۱-۲ دو دستک به قسمت زیرین پل اضافه می شود، یک کابل مطابق شکل ۲-۱-۲ از زیر پل دو دستک را به یکدیگر متصل می سازد و سپس توسط جک در کابل نیروی کشش  $F$  ایجاد می شود. نحوه قرار گیری قطعات، نیروهای بوجود آمده و میزان لنگر بوجود آمده در شکل ۲-۱-۲ نمایش داده شده است.

با این کار لنگر  $M_1$  نیز باید با لنگر موجود  $M$  جمع شوند و بخاطر منفی بودن لنگر  $M_1$ ، لنگر موجود کل کاهش می یابد.

$$M = M + M_1 = M - hF$$

۳-۱-۲ کابل به قسمت پایین تیر متصل شده و بوسیله جک در کابل نیروی کشش  $F$  ایجاد می شود. نحوه قرار گیری قطعات، نیروهای بوجود آمده و میزان لنگر بوجود آمده در شکل ۳-۱-۲ نمایش داده شده است.

با این کار لنگر  $M_1$  نیز باید با لنگر موجود  $M$  جمع شوند و بخاطر منفی بودن لنگر  $M_1$ ، لنگر موجود کل کاهش می یابد.

$$M = M + M_1 = M - hF$$

مقایسه روش اول و دوم نشان می دهد که در روش اول مقطع دستک ها برای خمش کمتری نسبت به روش دوم طراحی می شوند. از آنجایی که بیشتر نیرو در روش اول بصورت قائم و بسمت بالا می باشد، اتصال دستک ها به پل نیز به نسبت روش دوم برای خمش کمتری انجام می شود. در روش اول نیروهای قائم پل را به سمت بالا هدایت می کنند ولی در روش دوم برای کاهش لنگر خمشی موجود در پل از لنگر متمرکز استفاده می شود و این لنگر متمرکز می تواند تاثیر مخربی روی پل داشته باشد. بنابر این روش اول نسبت به روش دوم از مزیت های بیشتری برخوردار است. روش سوم برای شرایطی مناسب است که مقدار تقویت مورد نیاز کم باشد، ارتفاع مقطع زیاد باشد و روی شاهتیرها امکان مهار کابل وجود داشته باشد.

۴-۱-۲ روش مخصوص پلهای خرپایی

نیروی عضوهای افقی بالایی خرپا فشاری و عضوهای پایینی کششی می باشد. برای تقویت پلهای می توان مانند شکلهای ۲-۱-۴ بوسیله کابل عضوهای فشاری را کشید و عضوهای کششی را فشار داد. با اینکار تنش موجود در عضوهای بحرانی کاهش پیدا می کند [۱]. بطور مثال در خرپای شکل ۲-۱-۴

برای تقویت عضوهای CD, BG, GE می توان علاوه بر عضوهای BC, DE کابل های BC, DE را قرار داد. کابل ها باید در نقاط مذکور به خوبی به پل متصل شوند. سپس کابل ها توسط چک های مخصوص با نیروی F کشیده می شوند. با این کار نیروی فشاری در عضو CD و کششی در عضوهای GE و BG به میزان  $F \cos \alpha$  کاهش پیدا می کند و مقدار لنگر موجود در ناحیه تقویت شده به میزان  $hF \cos \alpha$  کاهش پیدا می کند.

$$M = M + M_1 = M - hF \cos \alpha$$

لنگر موجود جدید

## ۲-۲- سیستم های منفصل پسکشیدگی:

با استفاده از این نوع سیستم ها می توان در وسط دهانه که بیشترین تاثیر را برای ایجاد لنگر خمشی دارد یک نیروی رو به بالا ایجاد کرد. نیروی رو به پایین نیز با مقداری فاصله از وسط دهانه وارد می شود. با این کار از مقدار لنگر خمشی ماکزیمم که در وسط دهانه قرار دارد کاسته می شود [۲،۳]. همانطور که در شکل ۲-۲ مشخص است تقویت مقطع در برابر خمش در بین نیروی رو به بالا و رو به پایین انجام می شود. بیشترین میزان تقویت در وسط دهانه است و این مقدار بصورت خطی کم می شود تا در قسمتی که نیروی رو به پایین وارد می شود به صفر می رسد. مکانیزم های بوجود آورنده این نیروها را می توان با استفاده از ۲ روش نشان داد. همانطور که در شکل ۲-۲-ب نشان داده شده است، در روش اول از یک عضو فشاری کوتاه و ۲ کابل بلندتر استفاده می شود ولی در روش دوم از ۲ عضو فشاری بلند و یک کابل کوتاه استفاده می شود. از آنجایی که عضو فشاری نمی تواند لاغر باشد بنابراین در صورتی که از روش اول استفاده شود با قطعات سبکتری تقویت انجام می شود ولی یکی از اشکالات بسیار مهمی که در روش اول وجود دارد پایدار نمودن عضو فشاری می باشد. از آنجایی که این ۲ سیستم بصورت منفصل کار می کنند و برای بالا بردن سرعت باید با حداقل اتصالات با پل کار کند پایدار نمودن عضو فشاری توسط ۲ کابل تحت کشش به راحتی میسر نیست. بنابر این بهتر است از روش دوم استفاده کرد. برای اینکه عضوهای فشاری در محل تماس با پل تحت اثر نیروی وارده سر نخورد باید این عضوها را مهار کرد، اتصال این عضوها به پل زمانبر است. بنابراین بهتر است انتهای این ۲ عضو را بوسیله یک کابل به یکدیگر متصل کنیم تا ۲ عضو فشاری نتوانند از یکدیگر دور شوند. اتصال بالای این ۲ عضو به یکدیگر بصورت مفصلی می باشد تا بتواند همراه با پل تغییر شکل دهد. برای جلوگیری از خرابی موضعی در انتهای کابل یک صفحه نشیمن قرار داده می شود تا نیروی کشش کابل بصورت گسترده و در یک سطح بزرگتر به پل وارد شود.

## ۳- محدودیت های سیستم های تقویت:

در صورتی که سیستمهای تقویت کننده نیروهای زیادی به پل وارد کنند می توانند باعث ایجاد خرابی در سازه شوند. باید در نقاطی که نیروها وارد می شوند مقطع کفایت لازم را برای تحمل برش داشته باشد و در صورتی که نیروی لازم بیش از حد کفایت برشی مقطع باشد باید در نقاط اعمال نیرو تقویت برشی انجام شود. تقویت برشی شامل جوش دادن ورق فولادی به جان، چسباندن ورق های FRP و یا پیچیدن الیاف FRP به دور مقطع می باشد. در صورتی که مقطع پل توان تحمل مقدار لنگر خمشی منفی ایجاد شده توسط سیستم های تقویت را نداشته باشند باید میزان تقویت را محدود کرد

تا لنگر خمشی منفی باعث خرابی مقطع نشود.  
برای محاسبه کشش کابل ابتدا میزان تقویت مورد نیاز محاسبه می شود سپس کشش کابل با توجه به روابط موجود بدست می آید.

#### ۴- روشهای ترمیم پل:

آسیب های وارده به سازه می توانند از انواع شکستگی عضو فشاری، پارگی عضو کششی و لهیدگی در ناحیه برشی باشد. برای ترمیم سازه پس از آنکه سازه را به شکل و موقعیت اولیه بازگرداندند باید مقطع ترمیم شود. برای باز گرداندن سازه به حالت اولیه با توجه به شرایط از یکی از انواع روشهای منفصل و یا متصل می توان استفاده کرد [۴،۵].

#### ۴-۱- ترمیم عضو فشاری:

خرابی این اعضا از نوع کمانشی (تحت اثر لاغری عضو) و یا لهیدگی (تحت اثر تنش زیاد) می باشد. با جوش دادن ورقهای فولادی و یا چسباندن ورقهای CFRP می توان به هدف رسید.  
ترمیم عضو کششی: خرابی این اعضا از نوع نیروی محوری زیاد می باشد که با افزایش سطح مقطع می توان این عضو ها را تقویت کرد. روشهای مقابل قابل استفاده می باشند: ۱- با جوش دادن ورقهای فولادی به شکل تسمه در طول این اعضا. ۲- چسباندن ورقهای CFRP در طول عضو. ۳- چسباندن میلگردهای FRP در طول عضو ۴- چسباندن پارچه های GFRP در راستای طول عضو.

#### ۴-۲- ترمیم لهیدگی در ناحیه برشی:

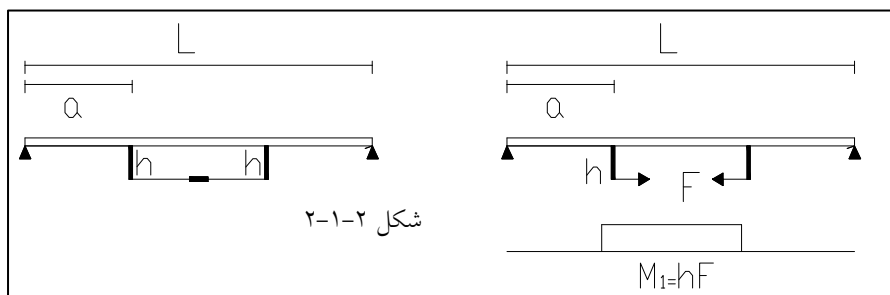
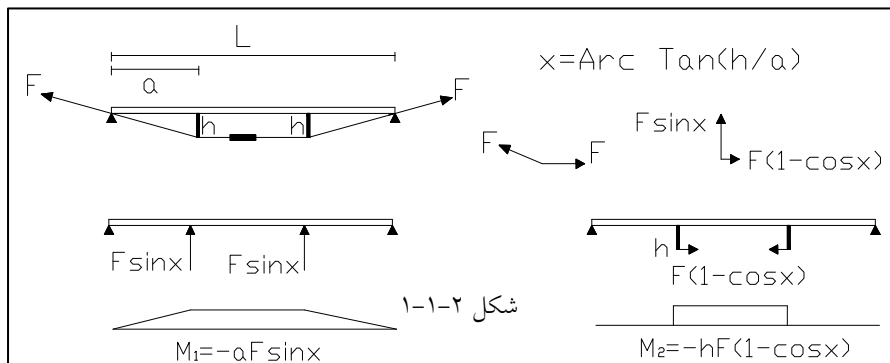
با جوش دادن ورق فولادی به جان، چسباندن ورق FRP به جان و یا پیچیدن پارچه های FRP به دور مقطع می توان علاوه بر تقویت برشی، شکلپذیری مقطع را افزایش داد.  
در سازه های فولادی بهترین روش برای تقویت، جوش دادن ورقهای فولادی می باشد ولی در سازه های بتنی نمی توان از این روش استفاده کرد. مزایای جوش دادن ورق شامل سرعت بالا، عدم نیاز به افراد با تخصص بالا و افزایش شکلپذیری سازه می باشد. برای تقویت سازه های بتنی جوش دادن صفحه فلزی مفید نمی باشد و برای تقویت این سازه ها از ۲ روش می توان استفاده کرد: ۱- آرماتوربندی به دور مقطع و ریختن بتن تازه ۲- استفاده از FRP. در روش اول برای سفت شدن بتن باید ۲۸ روز صبر کرد ولی در صورت تقویت با استفاده از FRP تنها ۴ الی ۵ روز باید برای خشک شدن چسب اپوکسی صبر کرد و بعد از آن پل قابل بهره برداری است بنابراین تقویت با FRP از نظر زمانی بهترین روش برای تقویت سازه های بتنی می باشد. برای استفاده از FRP باید مفاد موجود در نشریه شماره ۳۴۵ رعایت شوند. البته طبق نشریه ۳۴۵ استفاده از FRP در محدوده فشاری به دلیل وجود احتمال کمانش موضعی الیاف باید با احتیاط زیادی انجام شود.

#### ۵- نتیجه گیری:

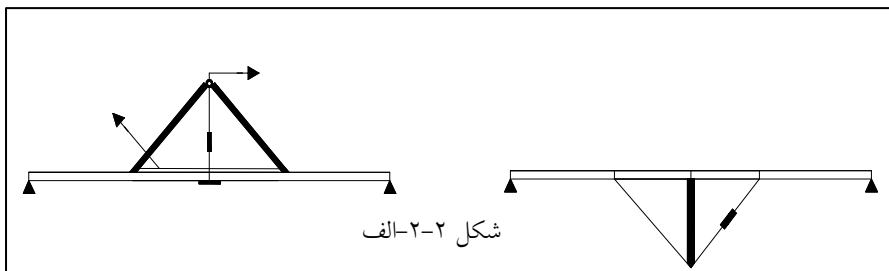
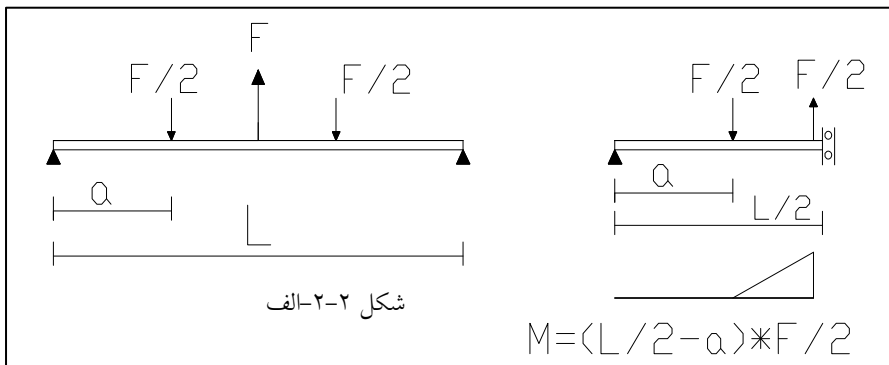
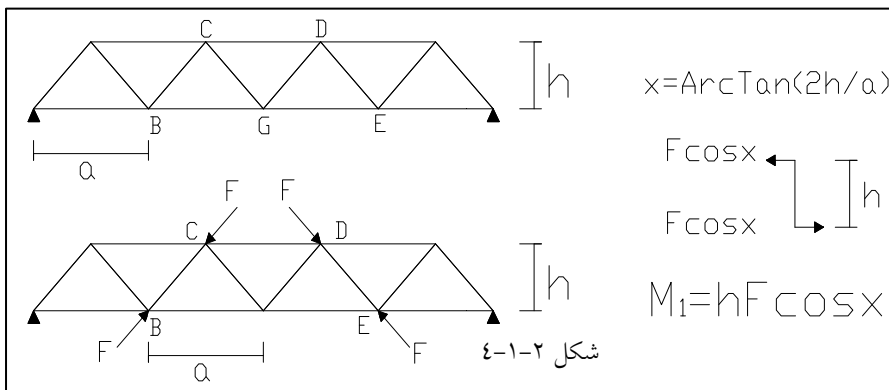
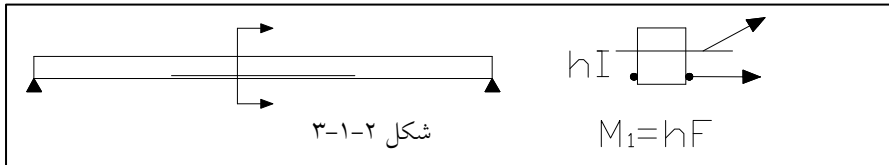
۱- با استفاده از روشهای پسکشیدگی می توان پل را برای ترمیم به شکل اولیه بازگرداند، پل را بصورت موقت ترمیم کرد و یا پل را برای بارهای خارج از حدود طراحی بصورت موقت تقویت کرد.  
۲- با در نظر گرفتن شرایط پل و نوع و میزان خسارات وارده می توان بهترین روش تقویت پل را انتخاب کرد.

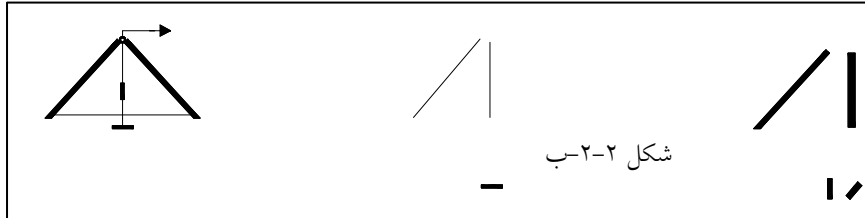


- ۳- در صورتی که پل از نظر برشی آسیب دیده باشد با استفاده از یکی از این روشها می توان برش موجود در پل را کاهش داد.
- ۴- با تغییر در اندازه ها و فاصله های وسایل تقویت کننده می توان نیروهای این سیستم ها را کنترل کرد تا در حالت بهینه کار کنند و با کمترین نیرو به تقویت مورد نظر رسید.
- ۵- با آماده کردن قطعات مورد نیاز برای تقویت منفصل در ابعاد مختلف و داشتن جدولی برای ابعاد قطعات مورد نیاز برای هر پل می توان در کوتاهترین زمان ممکن پل آسیب دیده را بازگشایی کرد.
- ۶- نیروی کشیدگی کابلها باید تا حدودی محدود شوند که باعث ایجاد خرابی های دیگر بخصوص از نوع برشی نشوند.
- ۷- در صورتی که نیروهای بوجود آمده توسط سیستم های تقویت کننده سازه زیاد باشند و امکان ایجاد خرابی در پل وجود داشته باشد می توان از چند سیستم بطور همزمان و یا یک سیستم در ابعاد و اندازه های مختلف استفاده کرد.
- ۸- در زمان بهره برداری از پلهای ترمیم شده بهتر است سطح پل هموار باشد و ماشین آلات بخصوص ماشین های سنگین سنگین با سرعت کم و ترمزهای آرام از روی پل عبور کنند تا از شدت اثر ضربه کاسته شود.









### ۶- مراجع

- [1] Kyong-bong Han and Sun-Kyu Park, 1998, Parametric study of truss bridges by the post-tensioning method
- [2] Recommendations for design of cable structures. 1994, Architectural Institute of Japan.
- [3] Minger Wu, Mutsuro Sasaki, 1999, Structural behavior of an arch stiffened by cables.
- [4] Brent M. Phares and Terry J. Wipf, Strengthening of steel Girder Bridges Using FRP
- [۵] نشریه شماره ۳۴۵ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور ۱۳۸۵، راهنمای طراحی و ضوابط اجرایی بهسازی ساختمان های بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی FRP
- [6] A F Daly and W Witarnawan , Strengthening of bridges using external post-tensioning, TRANSPORT RESEARCH LABORATORY.UK