تقویت و مقاوم سازی دیوار برشی

دیوارهای برشی به علت دارا بودن سختی و مقاومت زیاد در برابر نیروهای زلزله عضو مهمی در مقاومت سازه در برابر نیروهای لرزه ای محسوب می شوند. بنابر این لازم است آسیبهای وارد شده به آنها مرمت شده و نقصان مقاومت آنها جبران شود.

۱- مرمت موضعی

اگر آسیبهای دیوار برشی شامل ترکهایی در بتن بدون خرد شدن بتن باشد و چسبندگی بین آرماتور و بتن از بین نرود، با استفاده از تزریق چسب اپوکسی می توان دیوار را ترمیم نمود. در این نوع ترمیم ابعاد دیوار عوض نمی شود، و دیوار به دلیل اینکه اپوکسی تمام ترکهای موئی را ممکن است نپوشاند، مقاومتش به حالت اولیه بر نمی گردد.

در ترمیم با اپوکسی باید توجه کرد، که چسب اپوکسی در مقابل حریق مقاومتی ندارد.

در دیوار برشی اگر مقاومت اضافی مورد نیاز باشد از روشهای دیگر باید استفاده کرد.

- اگر در دیوار برشی علاوه بر ترک، بتن خرد شده باشد و کمانش در آرماتورهای طولی رخ دهد، باید تعمیر و تعویض آن قسمت از دیوار در دستور کار باشد.

بتن خرد شده باید برداشته شود، سطح بتن تمیز و زبر گردد، آرماتورهای تقویتی در محل مرمت قرارداده شوند و بتن ریزی شود(بسته به مقدار آسیب از بتن بدون افت یا بتن پلیمری یا بتن پاشیده می توان استفاده کرد).

۲- تقویت دیوار با افزایش ابعاد دیوار

- **افزایش مقاومت برشی**

افزایش ضخامت جان دیوار بوسیله بتن مسلح جهت افزایش مقاومت برشی دیوار بکار می رود(شکل ۳۰). آرماتورهای جان شامل میلگردهای افقی و قائم بسته به میزان تقویت قرار داده می شوند. آرماتور و بتن تقویتی به کمک میلگرد قلاب شده با کاشت میلگردها و چسب اپوکسی و زبر نمودن سطح بتن به بتن موجود اتصال می یابد.

مهار آرماتورهای تقویتی با کار گذاری و کاشت میلگرد در اعضای مجاور و چسب اپوکسی می تواند انجام شود.

- **افزایش مقاومت خمشی دیوار برشی**

اگر افزایش مقاومت خمشی دیوار مورد نظر باشد باید بالهایی (اجزای مرزی)در دو طرف دیوار قرار داده شود(شکل۳۰)

بال جدید دیوار برشی باید با جزئیات مناسب مقید گردد، جهت این کار از قلابها و تنگها می توان استفاده کرد، بعنوان نمونه با جوش میلگردهای خمیده مخصوص به میلگردهای موجود و یا بوسیله کاشت میل مهار قلاب شده و چسب اپوکسی به بتن موجود می توان بالها را به دیوار موجود یکپارچه نمود.

- **افزایش مقاومت برشی و خمشی**

اگر افزایش مقاومت برشی و خمشی توام مورد نظر باشد، باید جان و بال دیوار با بتن مسلح تقویت شوند.

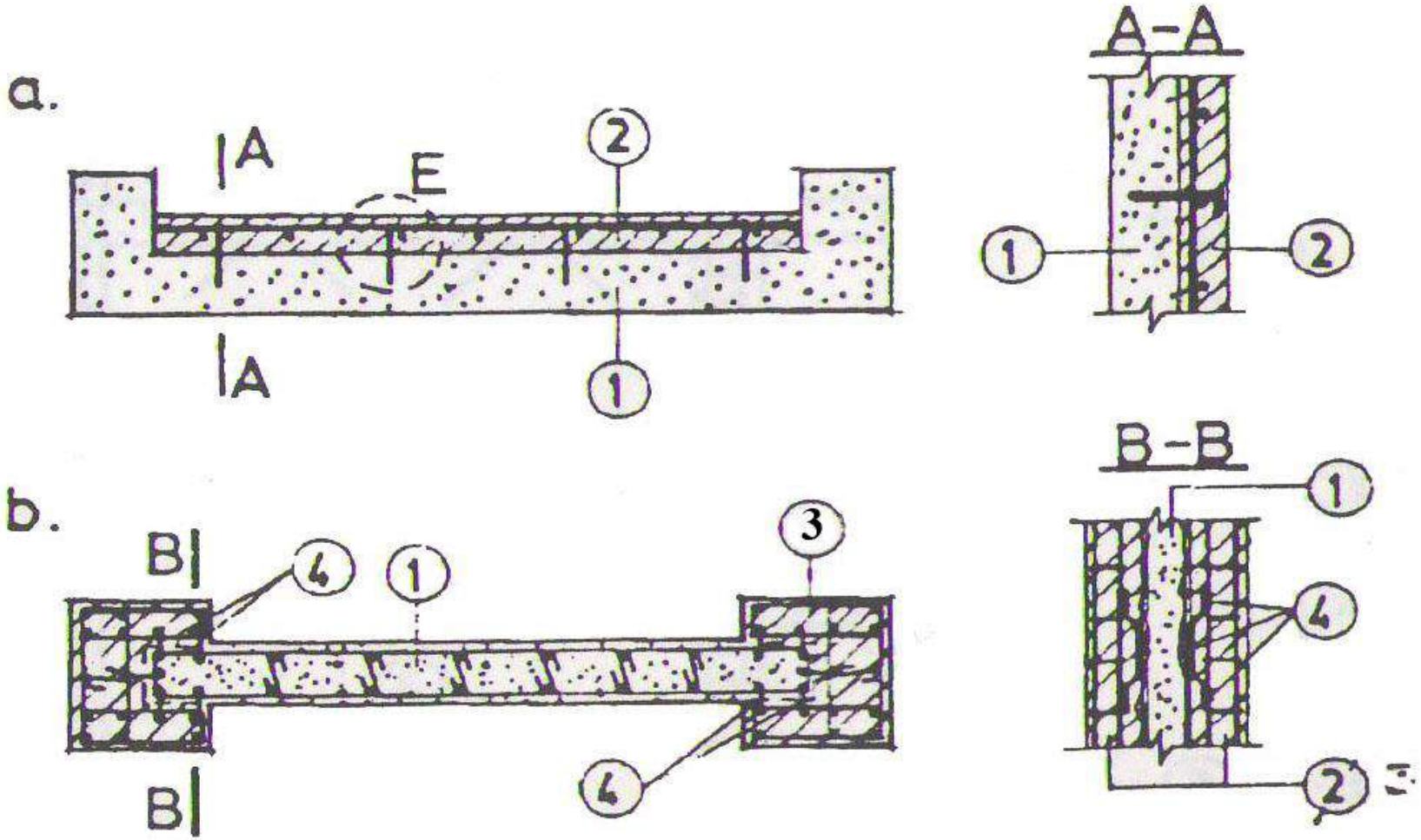
تقویت جان دیوار در یکطرف و یا در دو طرف می تواند انجام شود.

- **تقویت دو طرفه دیوار نتایج بهتری خواهد داشت و جهت اجرای آن نیاز به دسترسی به دو طرف دیوار می باشد.**
- **عبور دادن تنگها از سوراخهای تعبیه شده در دیوار و قلاب نمودن آنها به اطراف آرماتورهای طولی باعث افزایش بیشتر مقاومت دیوار می شود.**

- **انتقال نیروی برشی بین سقف و دیوار**

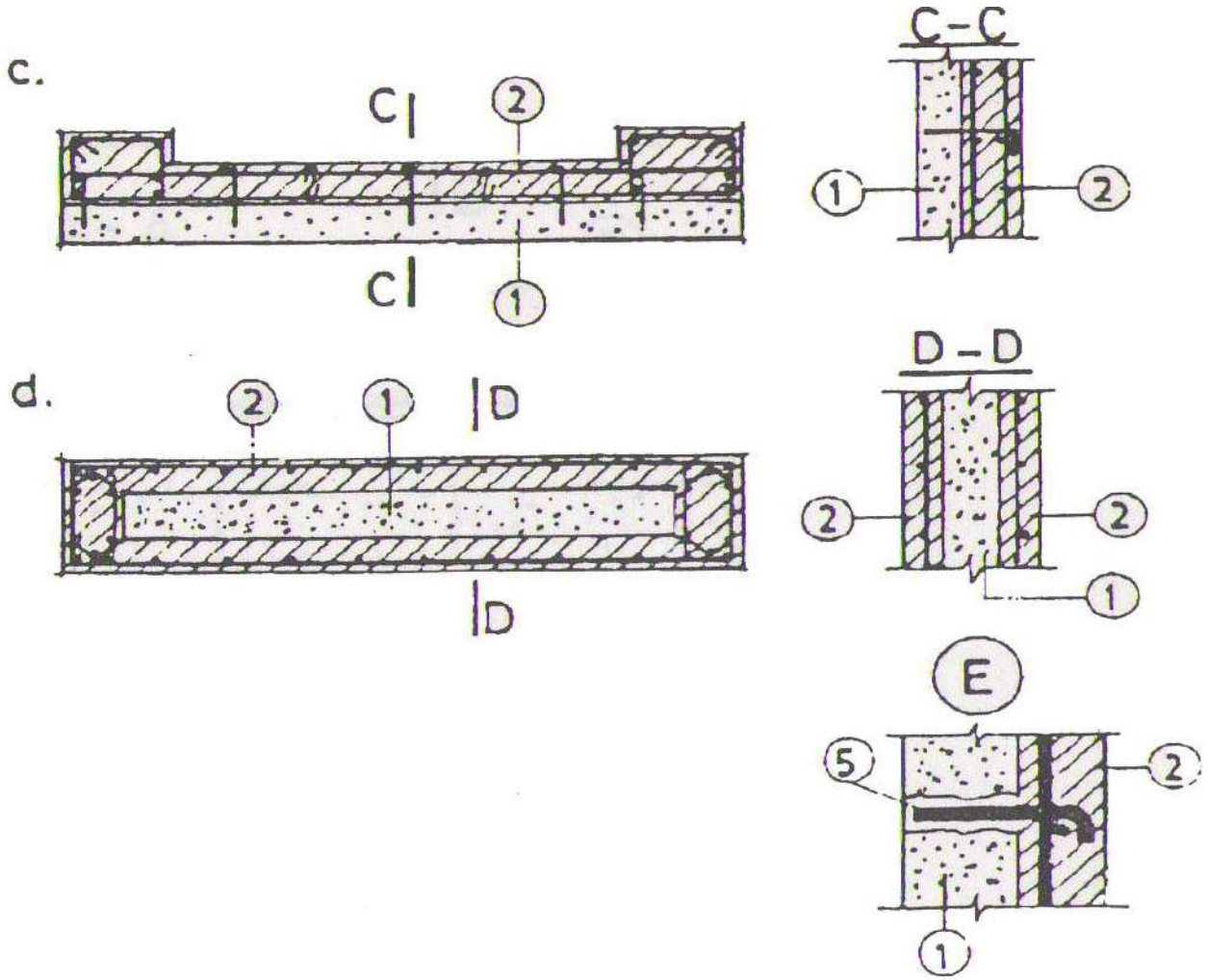
جهت انتقال نیروی برشی بین سقف و دیوار در دال سقف سوراخهایی تعبیه می گردد، از این سوراخها میلگردهای قطری عبور نموده و در دیوارهای بالا و پائین مهار می شوند. و اتصال را برای انتقال برش تقویت میکنند. از این سوراخها می توان جهت بتن ریزی دیوار نیز استفاده کرد(شکل ۳۱).

جهت انتقال برش بین دیوار جدید و دیوار موجود از کاشت میل مهار و چسب اپوکسی می توان استفاده کرد.



۱-دیوار ۲- دیوار اضافه شده ۳- ستونهای اضافه شده ۴- جوش

شکل ۳۰- تقویت دیوار برای برش و خمش



۱-دیوار ۲- دیوار اضافه شده ۵- میلگرد و اپوکسی

ادامه شکل ۳۰- تقویت دیوار برای برش و خمش

- ضوابط افزایش ضخامت دیوار برشی

۱- مقاومت مصالح تقویتی نباید از مقاومت مصالح موجود کمتر باشد.

۲- ضخامت اضافه شده به جان حداقل ۵ سانتیمتر و بال حداقل ۱۰ سانتیمتر خواهد بود.

۳- سطح مقطع آرماتورهای افقی و قائم اضافه شده به مقطع دیوار نباید از ۰/۰۰۲۵ سطح مقطع دیوار تقویت شده کمتر باشد.

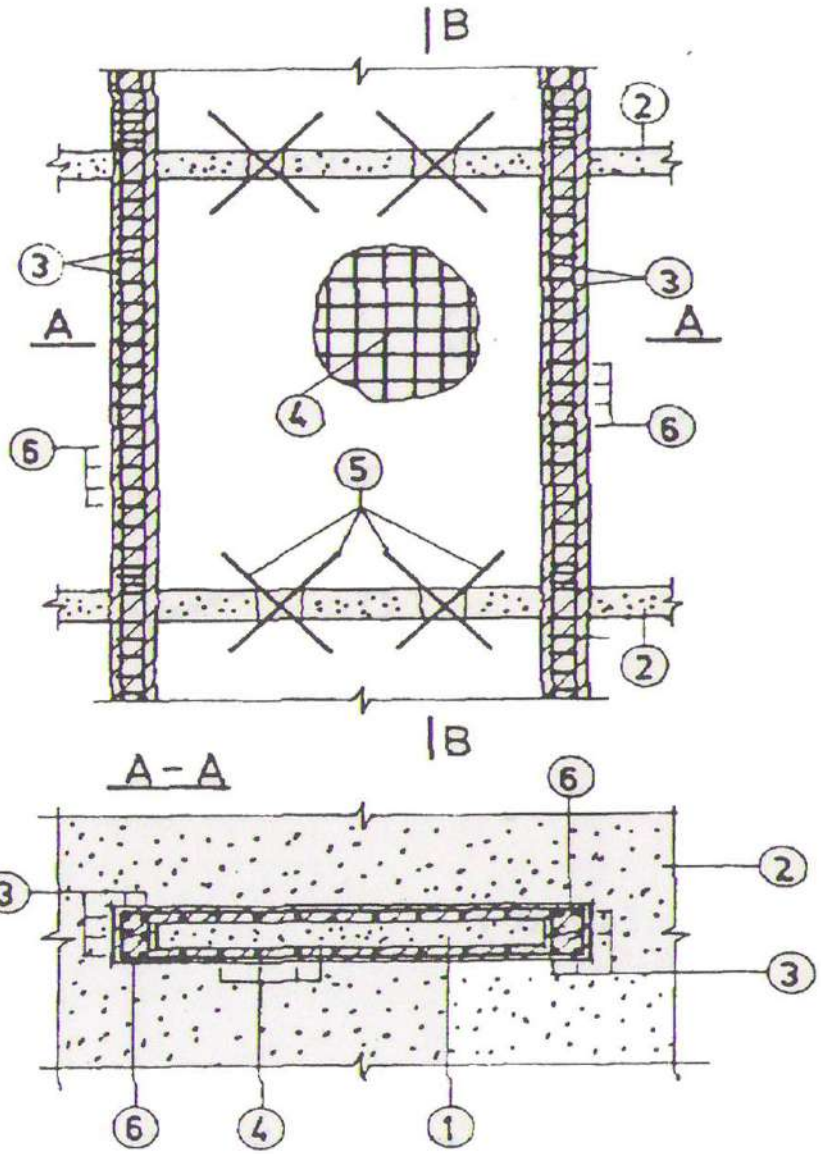
۴- سطح مقطع آرماتورهای قائم متمرکز اضافه شده در دو انتهای دیوار نباید از ۰/۰۰۲۵ سطح مقطع اضافه شده به مقطع دیوار کمتر باشد.

۵- قطر تنگهای اضافه شده به طرفین دیوار نباید از ۸ میلیمتر یا یک سوم قطر آرماتورهای تقویتی قائم کمتر باشد. فاصله تنگها نباید از ضخامت اضافه شده به دیوار و ۱۵ سانتیمتر بیشتر باشد.

۶- بتن تقویتی باید در فواصل حداکثر ۶۰ سانتیمتر در قائم و افق توسط کاشت میل مهار قلاب شده و چسب اپوکسی به بتن موجود اتصال یابد، همچنین سطح بتن موجود باید زبر و خراشیده شود.

۷- انتقال نیروها از دیوار به پی باید به نحو مناسب صورت گیرد از جمله استفاده از کاشت میلگرد در فونداسیون و .....

۸- افزایش ضخامت دیوار و افزایش ستونها در دو طرف باعث افزایش سختی دیوار شده و در توزیع نیروها موثر خواهد بود که باید در نظر گرفته شود.



۱-دیوار موجود

۲- دال موجود

۳- آرماتور طولی اضافه شده

۴- تور سیمی جوش شده

۵- میلگردهای قطری اتصال

۶- تنگهای اضافه شده

شکل۳۱- تقویت دو طرفه دیوار

تقویت و مقاوم سازی دالهای بتنی

با آنکه دالها اساسا **نقش تحمل بارهای ثقلی** را بر عهده دارند، اما باید بعنوان **دیافراگم صلب مقاومت و سختی کافی** جهت انتقال بارهای جانبی به سیستمهای مقاوم جانبی را داشته باشند.

خرابی در دالها عمدتا در اثر **تمرکز نیروهای زلزله در دال مجاور دیوار برشی، خرابی در نزدیک بازشوهای بزرگ، خرابی در پاگرد پله ها** و ... اتفاق می افتد.

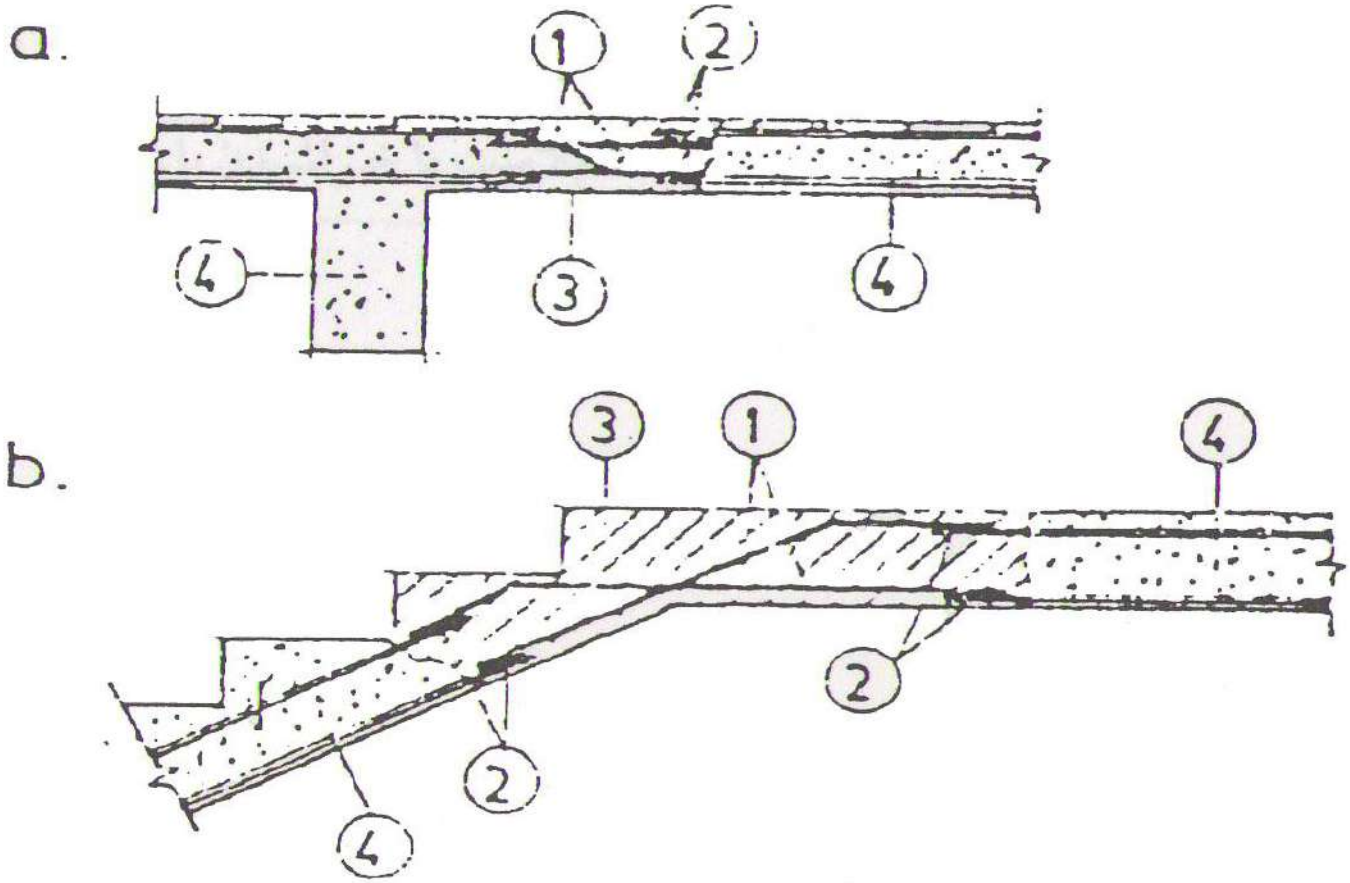
۱- ترمیم موضعی دال

اگر در دال ترکهائی بدون خرد شدن بتن و بدون کمانش آرماتورها رخ دهد، با تزریق اپوکسی یا دوغاب سیمان می توان دال را ترمیم نمود.

۲- تعمیر و تعویض قسمتی از دال

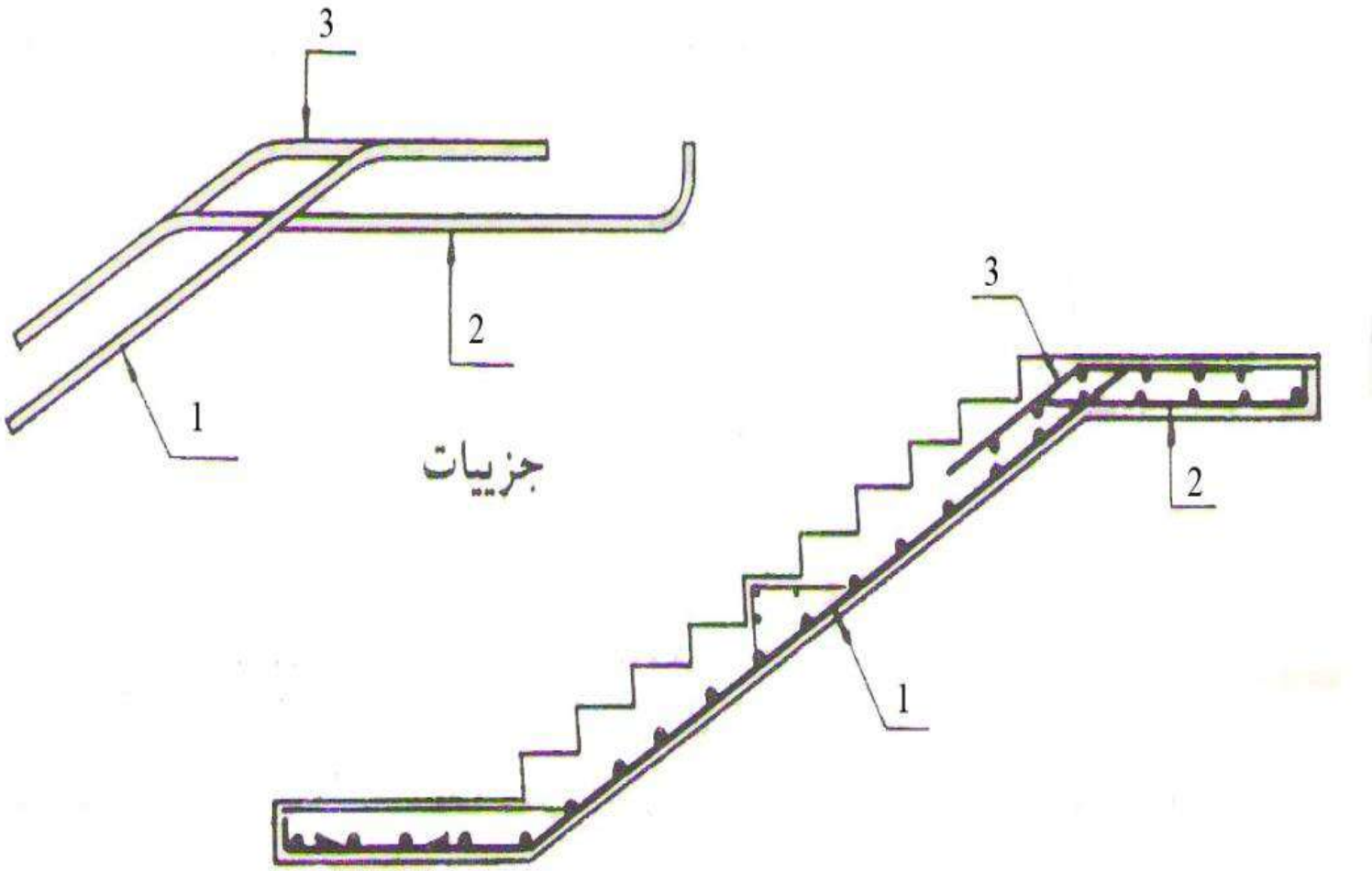
اگر در دال بتن خرد شده باشد و کمانش در آرماتورها رخ دهد، در قسمت آسیب دیده بتن باید برداشته شود و آرماتورهای جدید قرارداده شده و به آرماتورهای موجود جوش شوند و بتن ریزی صورت گیرد(شکل ۳۲).

مشخصات بتن مصرفی حداقل باید برابر مشخصات بتن موجود باشد.



۱-آرماتور اضافه شده ۲- جوش ۳- بتن اضافه شده۴- دال موجود

شکل۳۲- تعمیر و تعویض قسمت خراب شده دال



شکل۳۲مکرر- جزئیات آرماتور گذاری قسمت خم پله

۳- تقویت دال با افزایش ضخامت دال

یکی از روشهای تقویت دال در صورت کم بودن مقاومت و سختی آن افزایش ضخامت آن است.

افزایش ضخامت دال با مصالح جدید در بالا و یا در پائین دال صورت می گیرد.

اگر ضخامت دال در بالا افزایش یابد به علت افزایش عمق موثر و همچنین امکان اضافه نمودن آرماتورهای فوقانی در بالای تکیه گاهها مقاومت خمشی منفی دال افزایش می یابد(شکل ۳۳).در این حالت استفاده از بتن معمولی مناسب است.

اگر ضخامت دال در پائین دال افزوده شود، مقاومت خمشی مثبت دال به علت افزودن آرماتورهای تحتانی و همچنین زیاد شدن عمق موثر افزایش می یابد، در این حالت بتن پاشی مناسب است.

تقویت دال با افزایش ضخامت در بالا سختی بیشتری در دال جهت عمل دیافراگمی ایجاد می کند.

تقویت دال با افزایش ضخامت در پائین در صورت زره پوش نمودن تیرها تقویت با یکپارچگی و پیوستگی بیشتری ایجاد نموده و رفتار دال را نیز بهبود می بخشد.

یکپارچه نمودن بتن جدید و بتن موجود حائز اهمیت فراوان است. با روشهای زیر می توان یکپارچگی را ایجاد نمود:

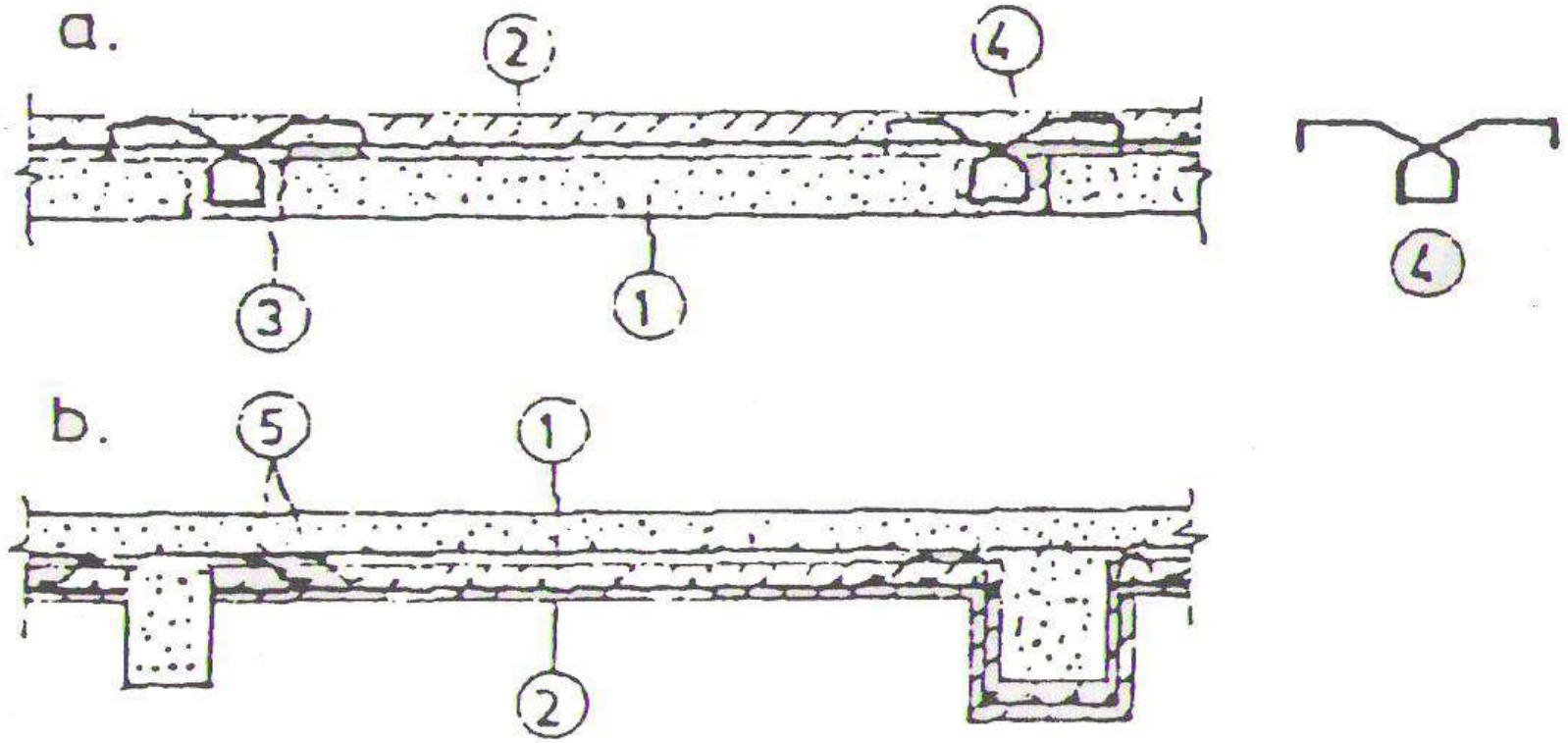
الف- ایجاد سطحی زبر با مخلوط اپوکسی و شن (شکل a ۳۴)

ب- کاشت میل مهار در بتن موجود با چسب اپوکسی (شکل ۳۴b)

پ- ایجاد حفره در دال موجود (شکل۳۴ c)

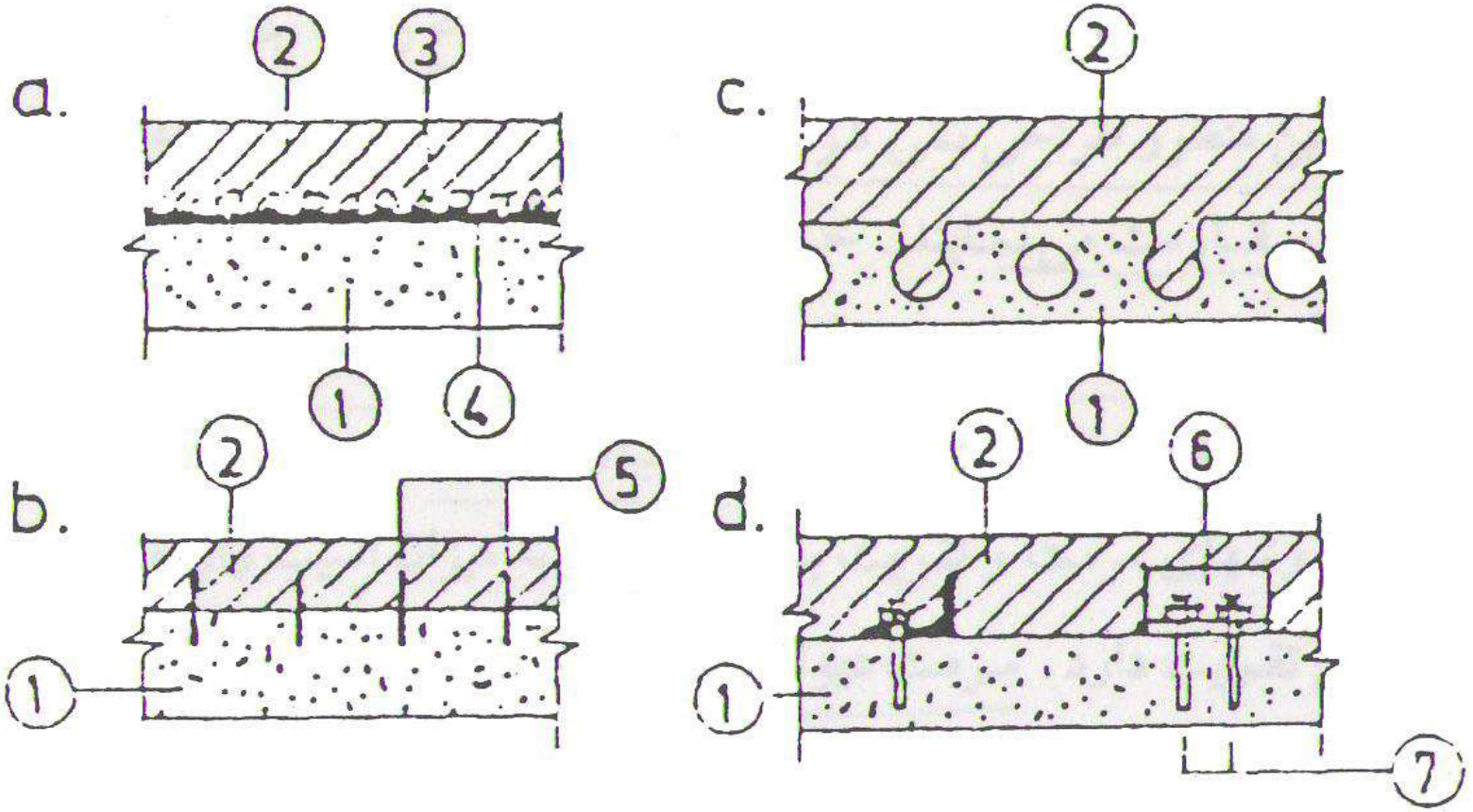
ت- تعبیه گلمیخها از نبشی، میخ و یا میلگرد و... (شکل۳۴ d)

زبر نمودن سطح بتن، چسبندگی و اتصال بتن جدید و بتن موجود را بطور قابل توجه ای افزایش می دهد. این عمل با خراشیدن سطح بتن و یا با سند پلاست و یا با وسایل مکانیکی می تواند صورت بگیرد.



۱-دال موجود ۲- آرماتور اضافه شده ۳- مهار ۴ – میلگردهای خمیده مهاری ۵- میلگردهای اتصال جوش شده

شکل۳۳- تقویت دال با افزایش ضخامت



۱-دال موجود ۲- دال جدید ۳- ماسه شکسته ۴ – اپوکسی

۵ - بولت و اپوکسی ۶-نبشی ۷- میل مهار یا میخ بتن

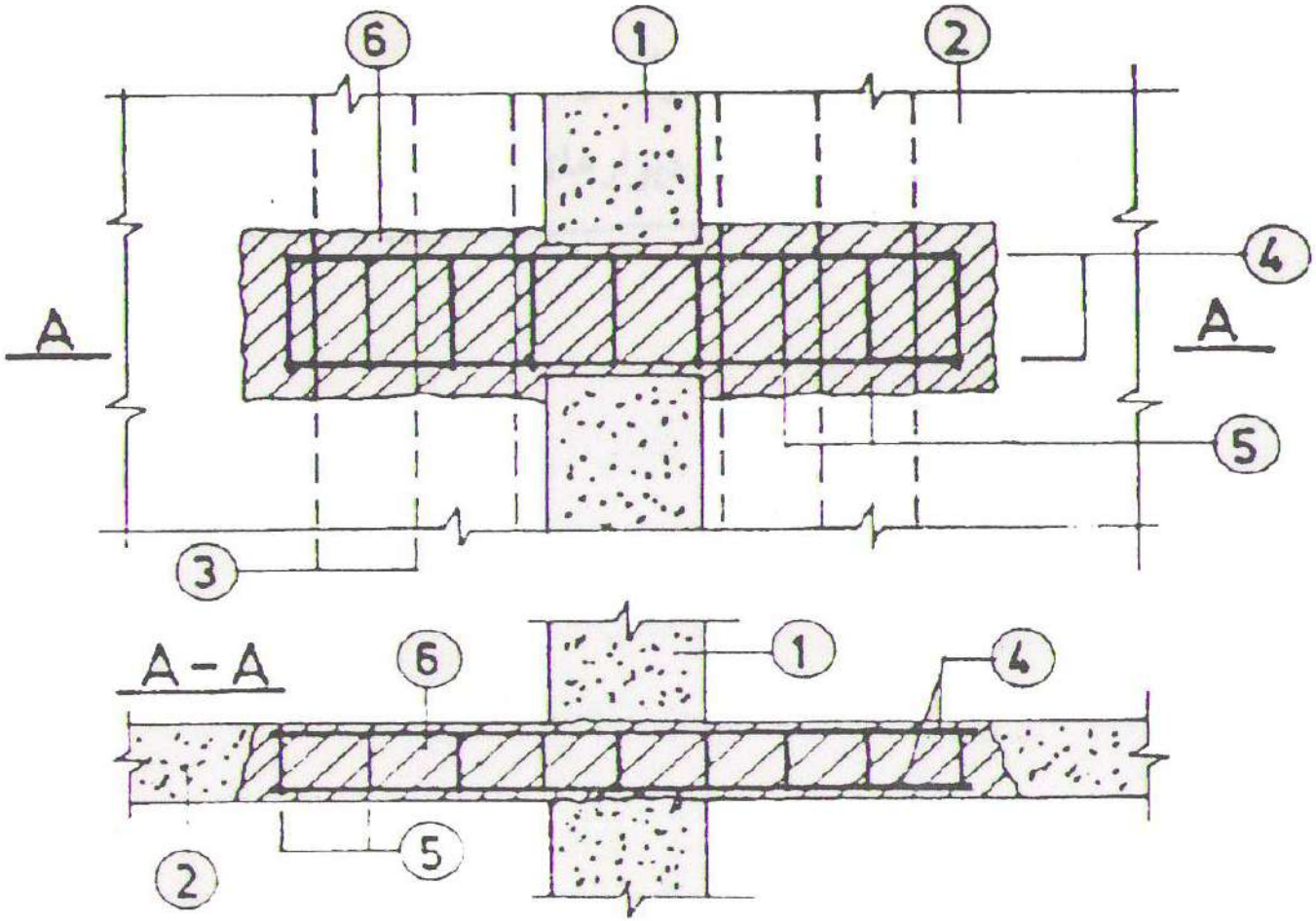
شکل۳۴- یکپارچه نمودن بتن جدید و بتن موجود در تقویت دال

تقویت اتصال دال به دیوار

تقویت اتصال دال به دیوار با بکارگیری بتن مسلح قابل انجام است.

مهار متشکل از آرماتورهای طولی، خاموتها و در صورت انتقال بیشتر نیروی برشی آرماتورهای قطری می باشند، که از میان دیوار برشی عبور نموده و در دال دو طرف دیوار ادامه می یابد.

بتن مصرفی باید دارای مقاومت بالا بوده و منبسط شونده باشد(شکل ۳۵).



۱-دیوار موجود ۲- دال موجود ۴ – آرماتورهای اضافه شده جهت مهار بتن مسلح ۵ – خاموتهای اضافه شده ۶-بتن اضافه شده

شکل۳۵- تقویت اتصال دال به دیوار برشی

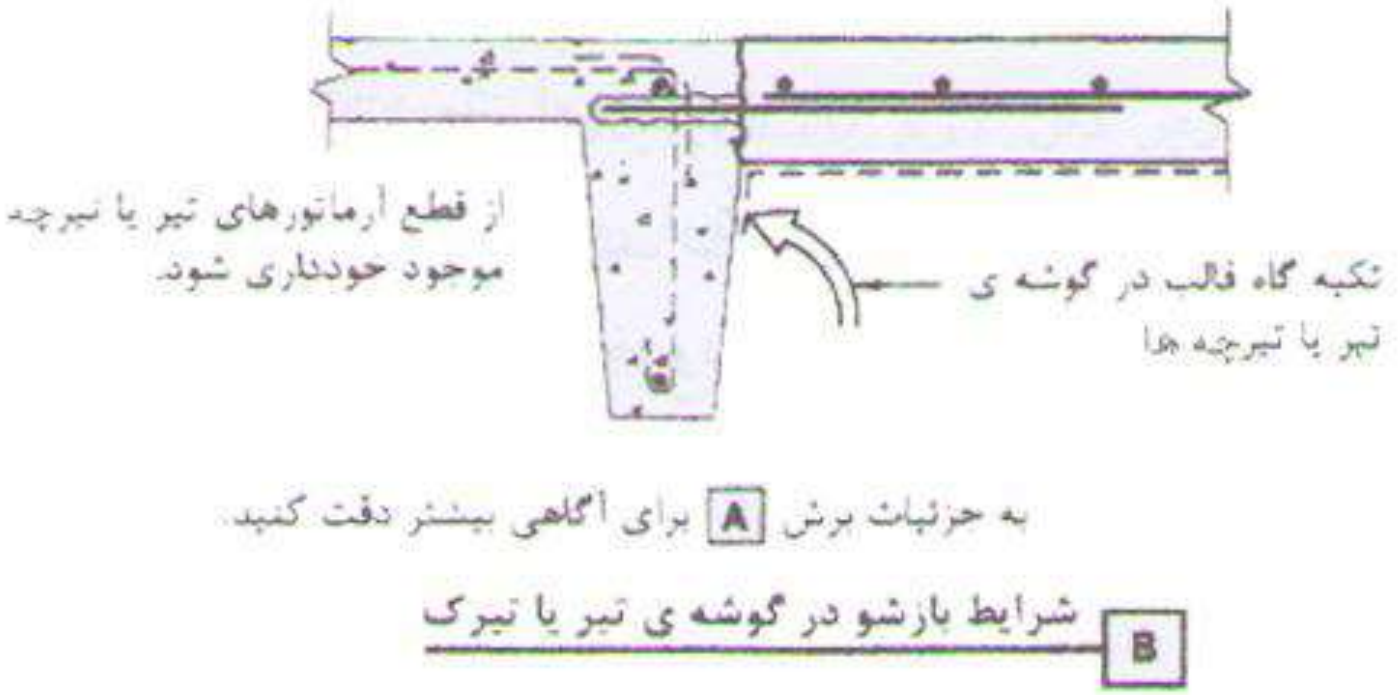
تقویت و بهسازی دیافراگم ها

علاوه بر تقویت دیافراگمها به روشهای گفته شده روشهای زیر نیز میتواند در بهسازی دیافراگم مفید باشد:

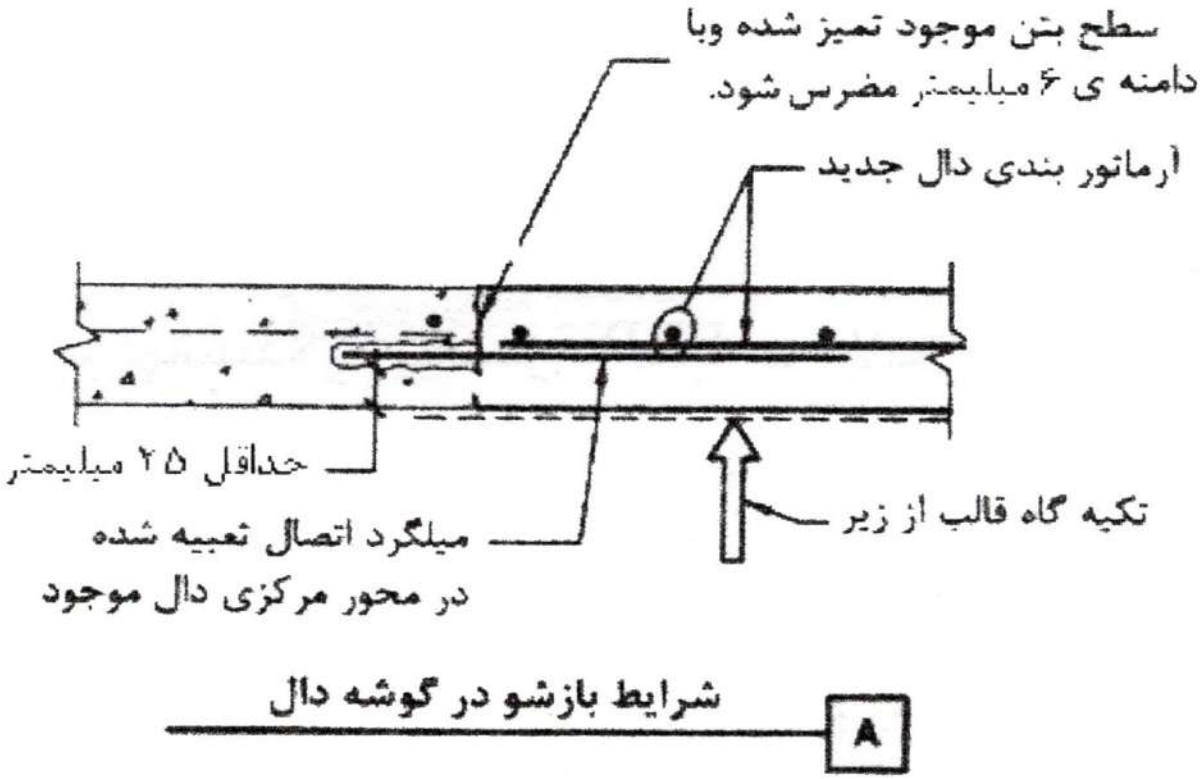
الف: پر کردن بازشوها در دیافراگم بتنی
در مواقعی که در اثر وجود بارشو، دیافراگم برای برش درون صفحه ای (برش دیافراگمی) مقاومت کافی نداشته باشد، با پر کردن بازشو با بتن مسلح درجا یا شاتکریت می توان مقاومت دال را برای برش درون صفحه ای افزایش داد.

اگر باز شو بزرگ باشد برای پر کردن بازشو به تیرهای پیرامونی نیاز خواهد بود. دال باید برای بارهای پوشش و برش دیافراگمی مقاومت لازم داشته باشد.

جزئیات پر کردن باشوها با بتن در کنار تیر و یا در لبه دال در شکلهای ۳۶ و ۳۷ نشان داده شده است.



شکل۳۶- پر کردن بازشو در دیافراگم بتنی برای باز شو در کنار تیر

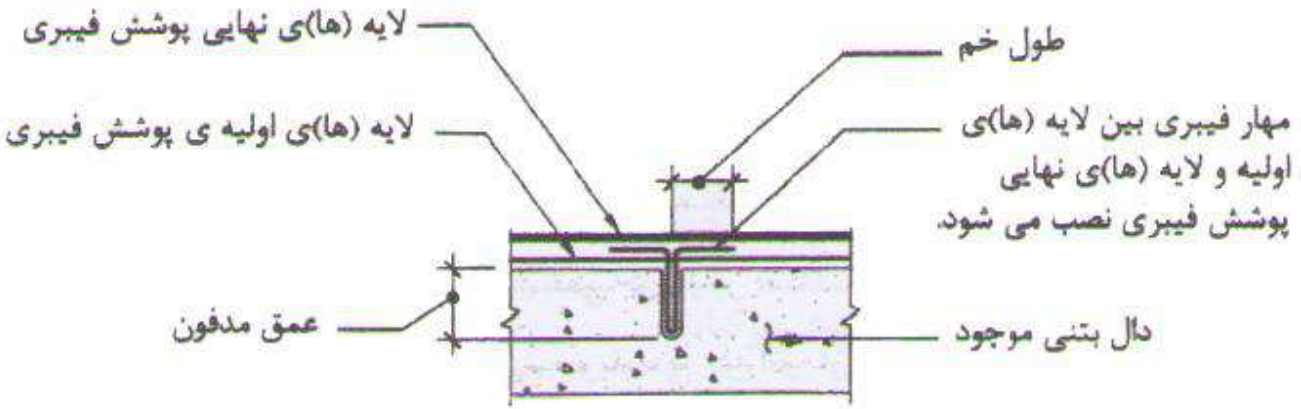


شکل۳۷- پر کردن بازشو در دیافراگم بتنی برای باز شو در کنار دال

ب: پوشش دیافراگم بتنی با کامپوزیت های FRP

استفاده از پوشش FRP در دالها برای ارتقای مقاومت برشی درون صفحه ای و همچنین جهت افزایش مقاومت خمشی دال (برش دیافراگمی) روش مناسبی است.

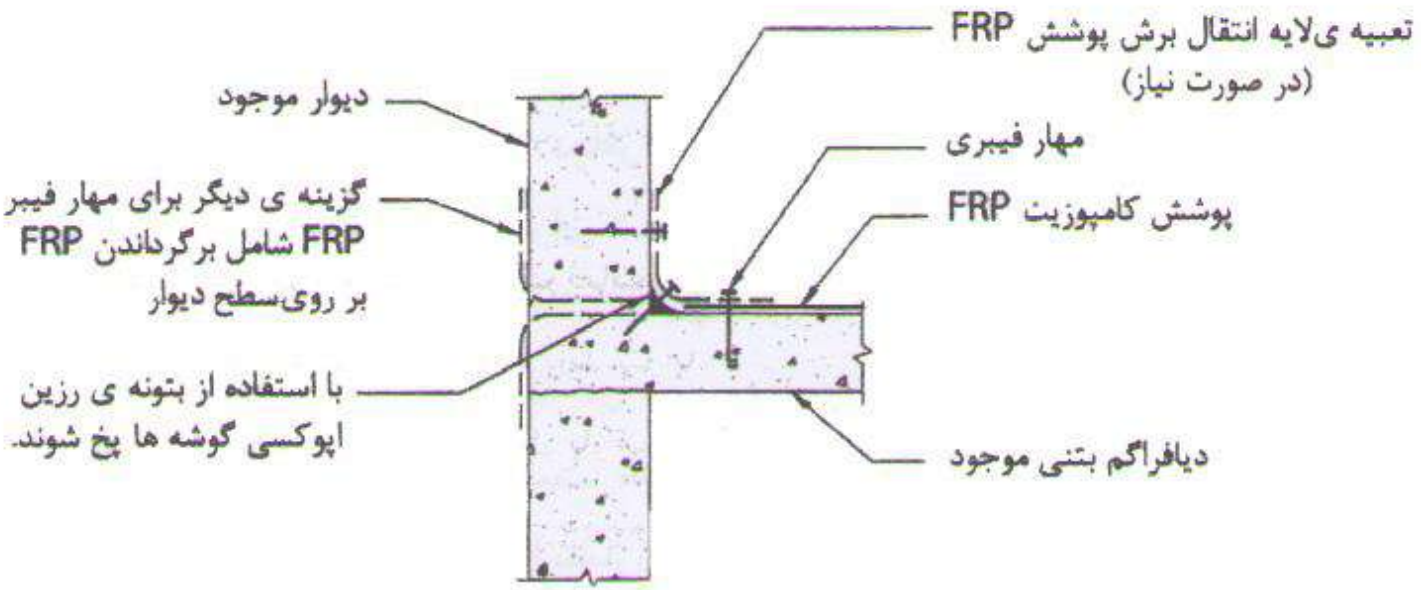
جهت افزایش مقاومت درون صفحه ای الیاف به موازات جهت برش قرار میگیرد.



جزئیات مهار فیبری

شکل۳۸- مقاوم سازی دیافراگم بتنی با FRP ، اتصال به دال موجود

در استفاده از FRP جهت افزایش مقاومت برش درون صفحه ای به انتقال نیروها از دال به تیرها یا دیوارهای اطراف توجه ویژه نیاز است(شکل ۳۸).



مقاوم سازی دیافراگم

شکل۳۹- مقاوم ساری دیافراگم بتنی با FRP، اتصال به دیوارها

پ: ارتقای دیافراگم طاق ضربی

استفاده از پوشش طاق ضربی در ساختمانهای فلزی یا ساختمانهای با مصالح بنایی در سابق بسیار متداول بود.

در پوشش طاق ضربی در اثر وجود قوس در اجرای طاق در هر دهانه نیروی رانشی ایجاد می شود، که در هر دهانه توسط نیروی رانشی دهانه دیگر خنثی می شود و در دهانه کناری توسط مهار به دیوار یا تکیه گاه منتقل می شود.

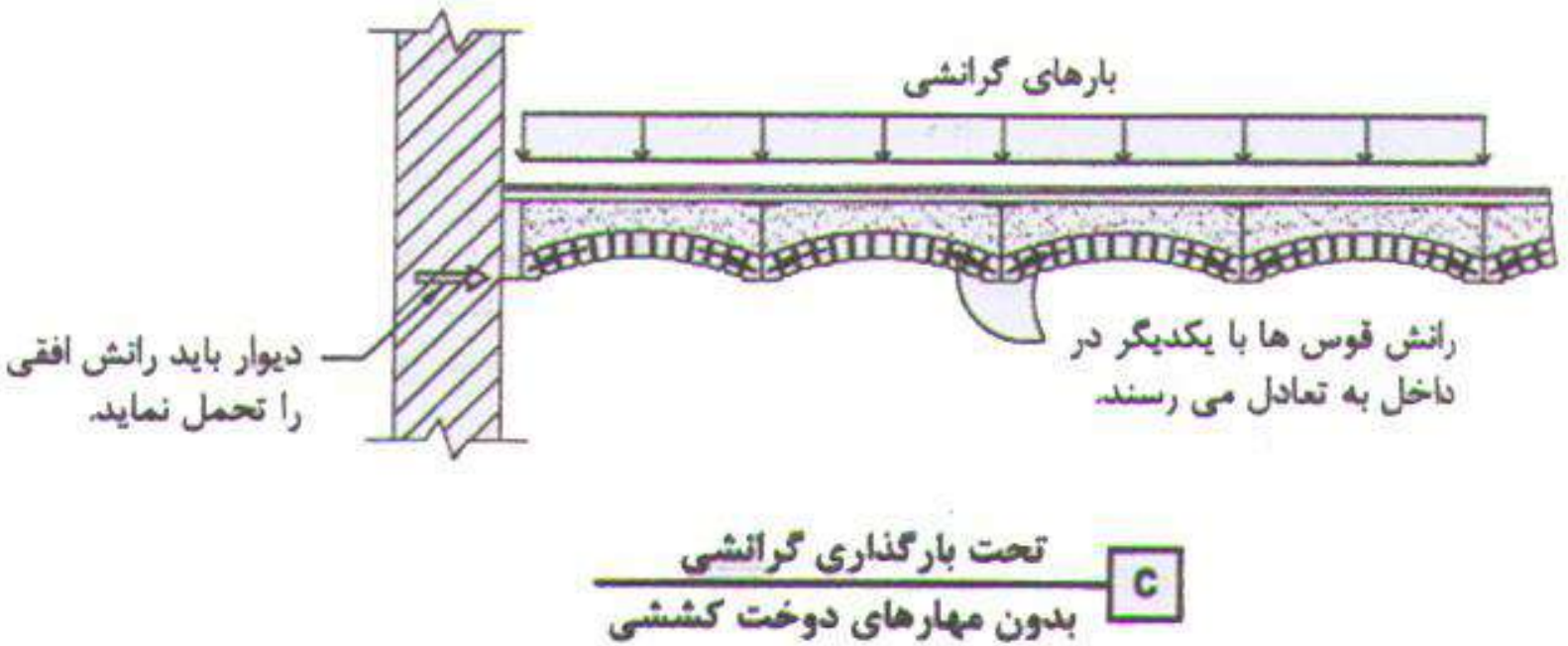
جهت ایجاد یکپارچگی بیشتر و افزایش صلبیت دیافراگم روی طاق ضربی پوشش بتن با آرماتورهای حرارتی اجرا می شود.

علاوه بر بتن ریزی به روشهای زیر می توان پوشش طاق ضربی را بهسازی نمود.

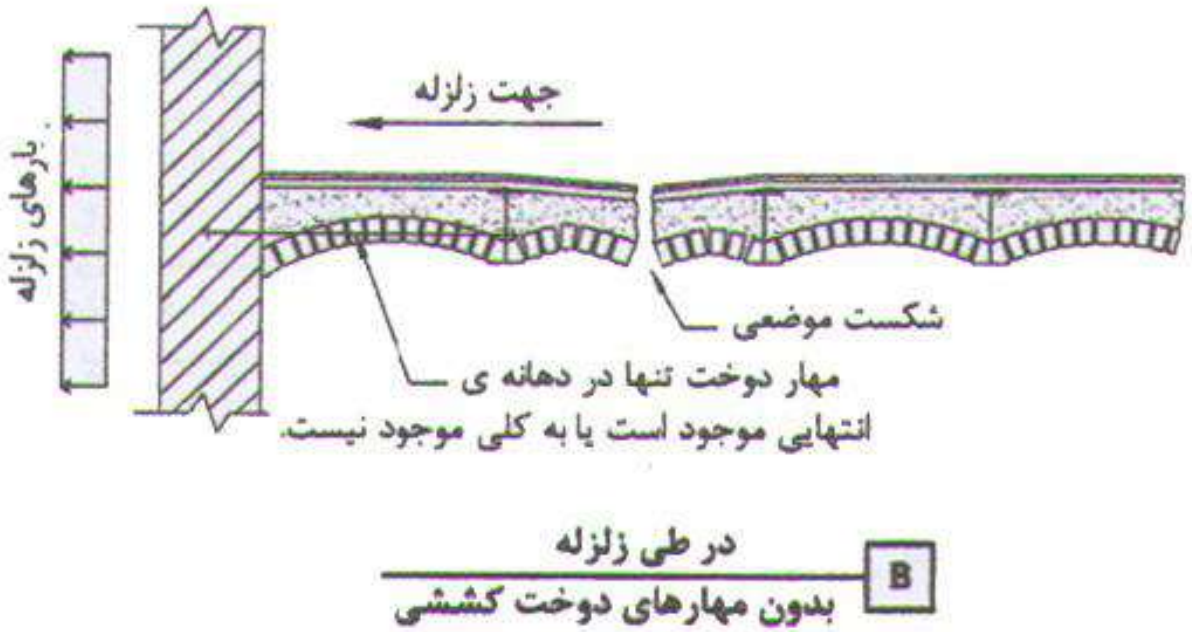
- مهارهای دوخت کششی و برشی دیوار به دیافراگم: شکلهای ۴۰ و ۴۱ و ۴۲

ایجاد عضو مرزی با استفاده از نبشی: شکلهای ۴۱ و ۴۲ و ۴۳

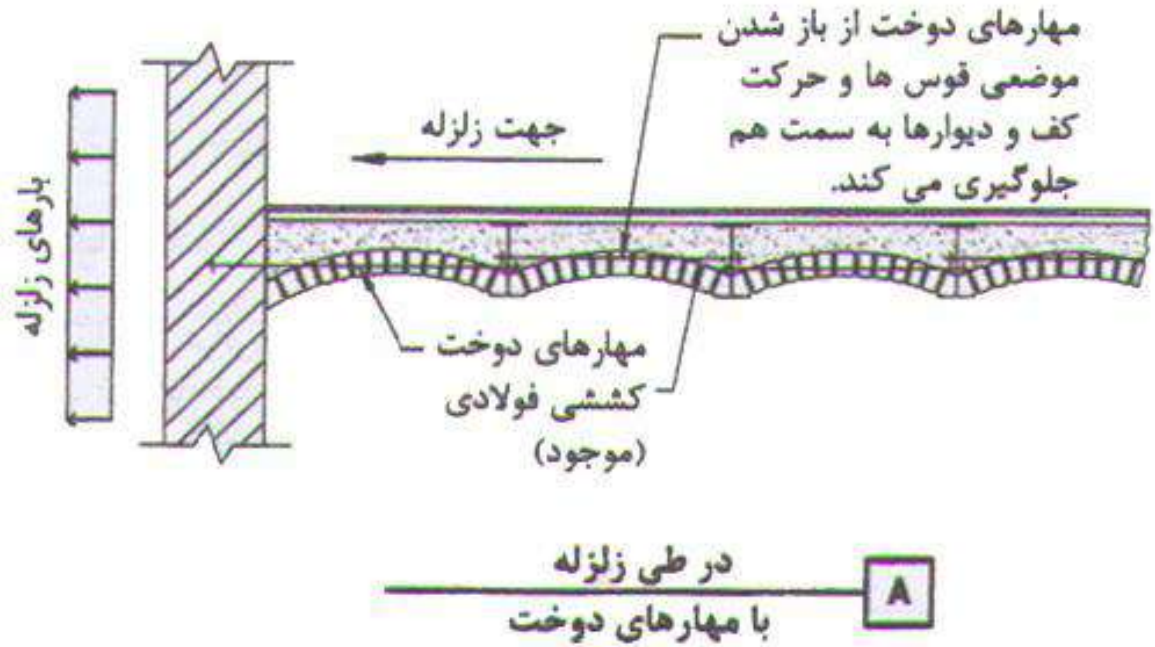
اجرای آرماتورهای ضربدری در بالای طاق ضربی:



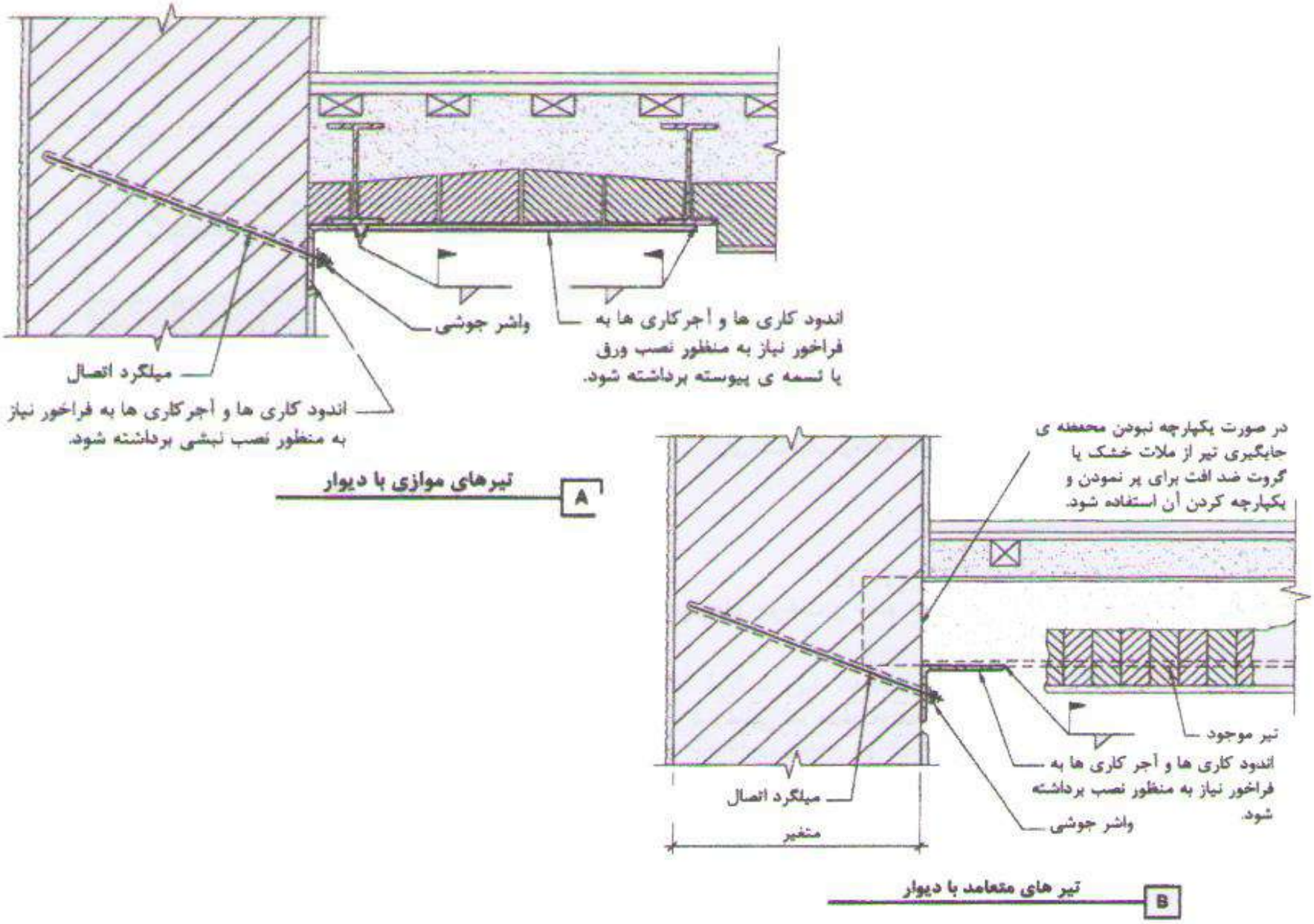
شکل۴۰- سقف طاق ضربی تحت نیروهای رانشی



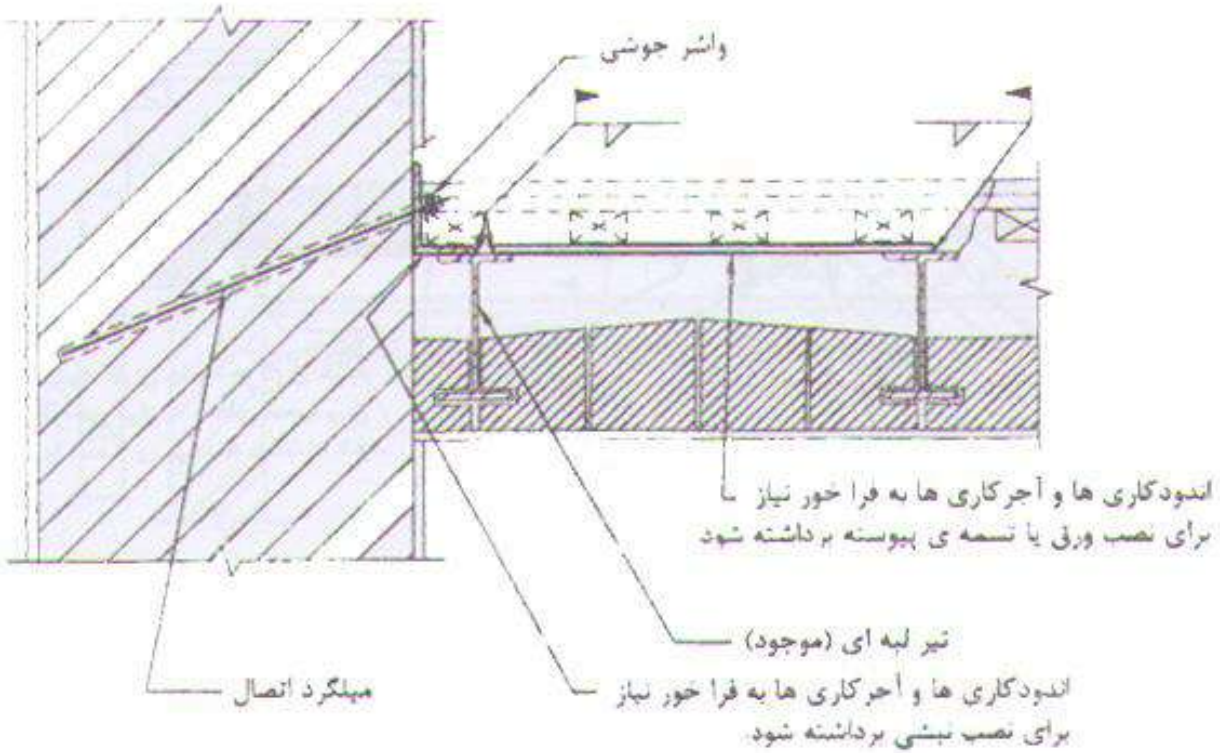
شکل۴۱- ارتقای سقف طاق ضربی با مهارهای کششی



ادامه شکل۴۱- ارتقای سقف طاق ضربی با مهارهای کششی

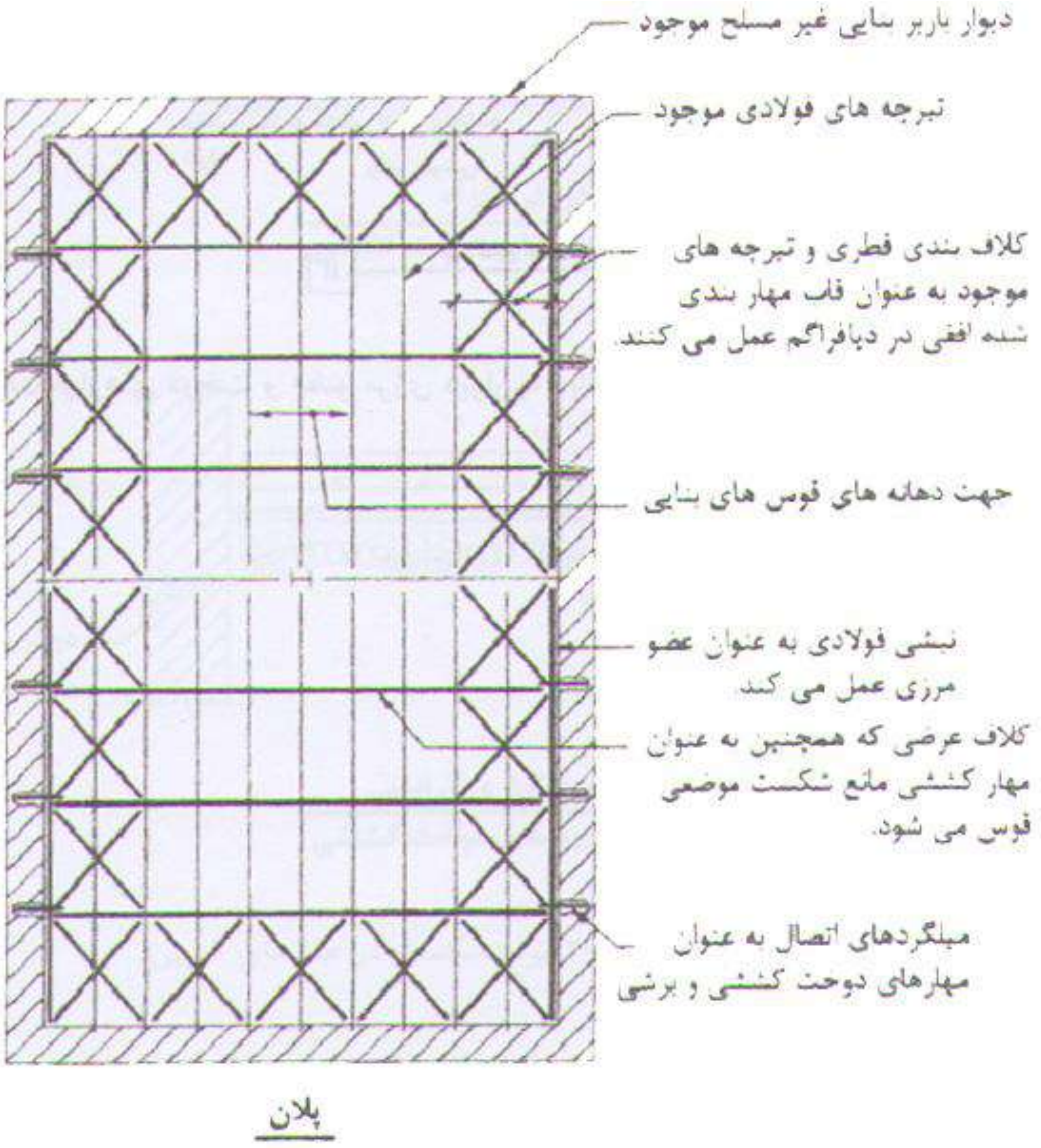


شکل۴۲- افزودن مهارهای دوخت و عضو مرزی دیوار به دیافراگم از زیر کف



تیرچه های موازی با دیوار

شکل۴۳- افزودن مهارهای دوخت و عضو مرزی دیوار به دیافراگم از بالای کف



شکل۴۴- مقاوم سازی طاق ضربی

تقویت فونداسیونها

مرمت و تقویت فونداسیون اغلب مشکل و از نظر اقتصادی گران می باشد، بطور کلی تقویت با افزودن پی جدید و یا اصلاح خاک زیر پی صورت می گیرد.

در صورت بروز شرایط زیر تقویت فونداسیون ضروری است:

۱- نشست زیاد فونداسیون به علت شرایط نامطلوب خاک

۲- بروز خرابی فونداسیون به علت وقوع زلزله

۳- افزایش بارهای ساختمان به علت تقویت آن و یا علل دیگر

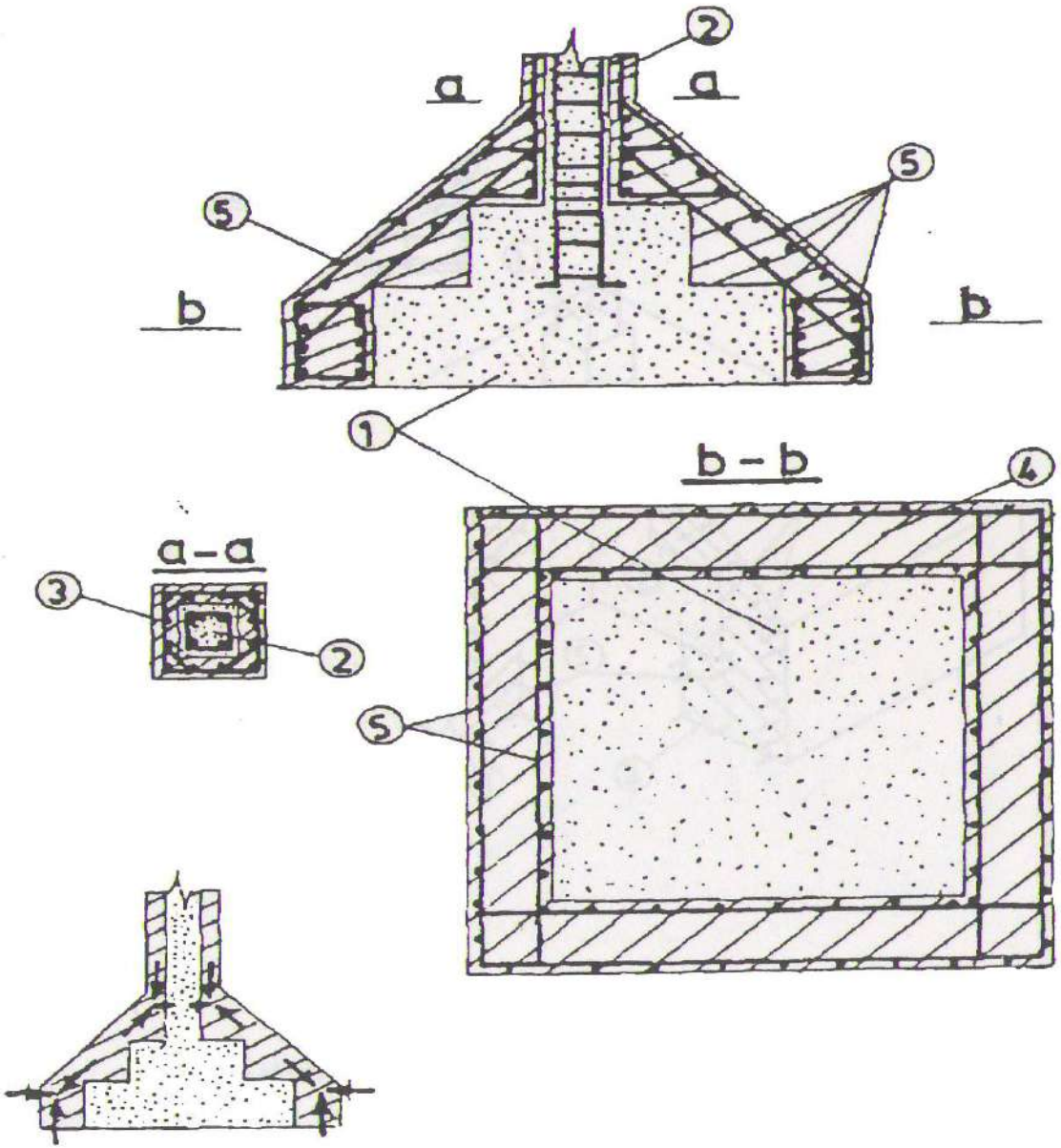
۴- افزایش بارهای زلزله به علت تغییرات آئین نامه

۵- لزوم افزایش سطح فونداسیون به علت افزایش طبقات ساختمان

۱- تقویت فونداسیون یک ستون تقویت شده با زره پوش

جهت تقویت فونداسیون موجود و بالابردن باربری آن باید ابعاد پی موجود را افزایش داده و تنشهای اضافی را که به علت افزایش بار به خاک وارد می شود، بطور یکنواخت در سطح فونداسیون اضافه شده توزیع نمود.

جزئیات زره پوش کردن فونداسیون برای تقویت فونداسیون یک ستون تقویت شده با زره پوش بتنی در شکل ۴۵ نشان داده شده است.



۱-فونداسیون موجود

۲- ستون موجود

۳- زره تقویتی

۴- بتن تقویتی

۵- آرماتورهای تقویتی

شکل۴۵- تقویت فونداسیون ستون تقویت شده با زره بتنی

۲- تقویت فونداسیون با اضافه شدن دیوار برشی یا اعضای مشابه

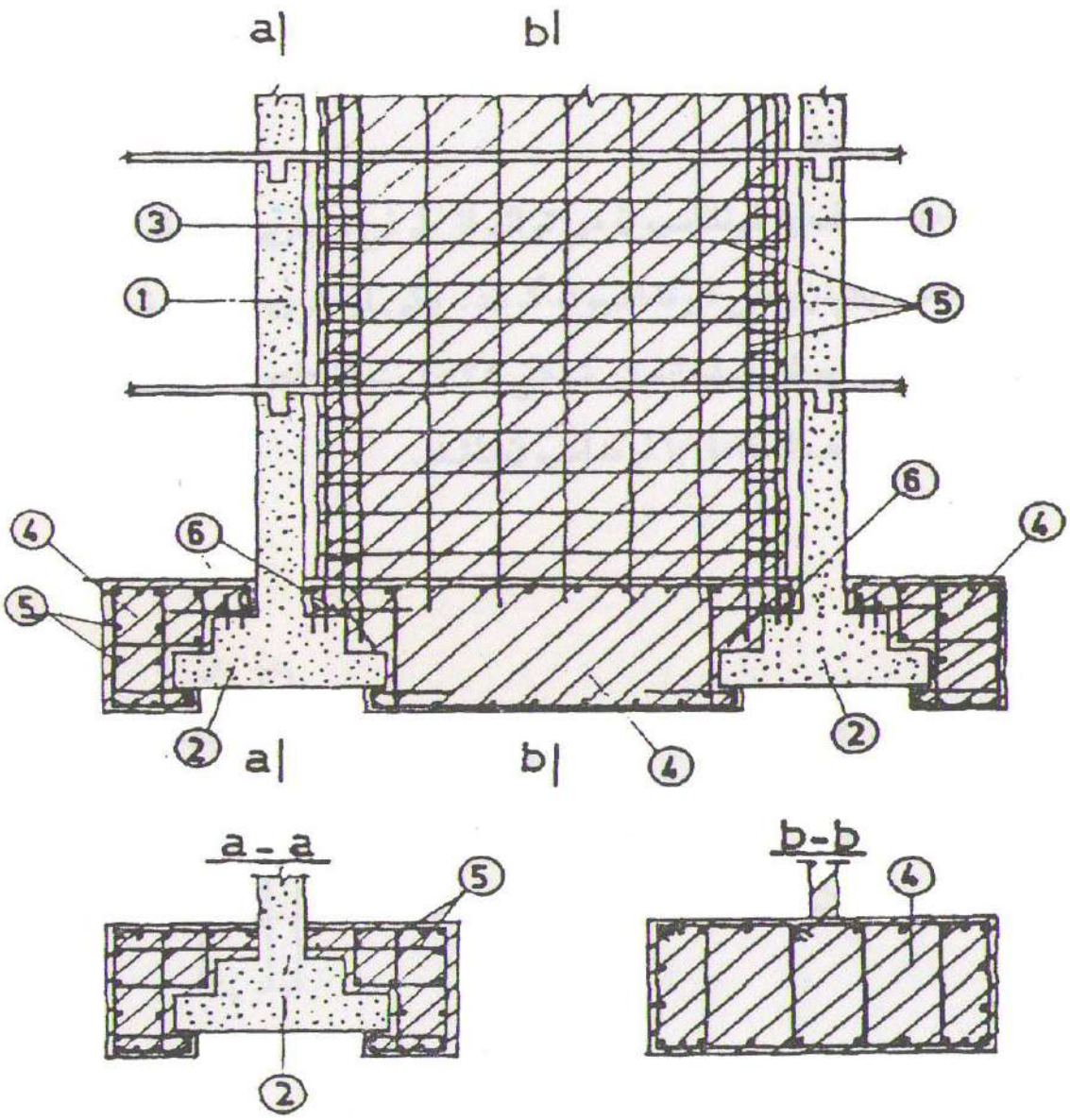
اگر دیوار برشی یا اعضای مشابه به ساختمان اضافه گردد، احداث فونداسیون جدید ضروری است، اتصال و یکپارچگی فونداسیون جدید و موجود بسیار مهم است(شکل ۴۶).

مهار آرماتورهای قائم اصلی در فونداسیون بسیار مهم است. این آرماتورها را با قراردادن در سوراخهای ایجاد شده در فونداسیون موجود و با استفاده از چسب اپوکسی می توان مهار نمود.

راه حل دیگر استفاده از آرماتورهای مورب و مهار آنها در فونداسیون می باشد.

جهت نصب آرماتورهای مورب می توان آنها را به ورق فولادی جوش داد(شکل ۴۷).

نیروهای محوری حاصل از زلزله باید با آرماتورگذاری مناسب در فونداسیون جدید انتقال یابد. نیروی برشی دیوار باید با تعبیه آرماتور کافی در جان دیوار و رعایت مهار آرماتورها به فونداسیون منتقل گردد.



۱-ستون موجود

۲- فونداسیون موجود

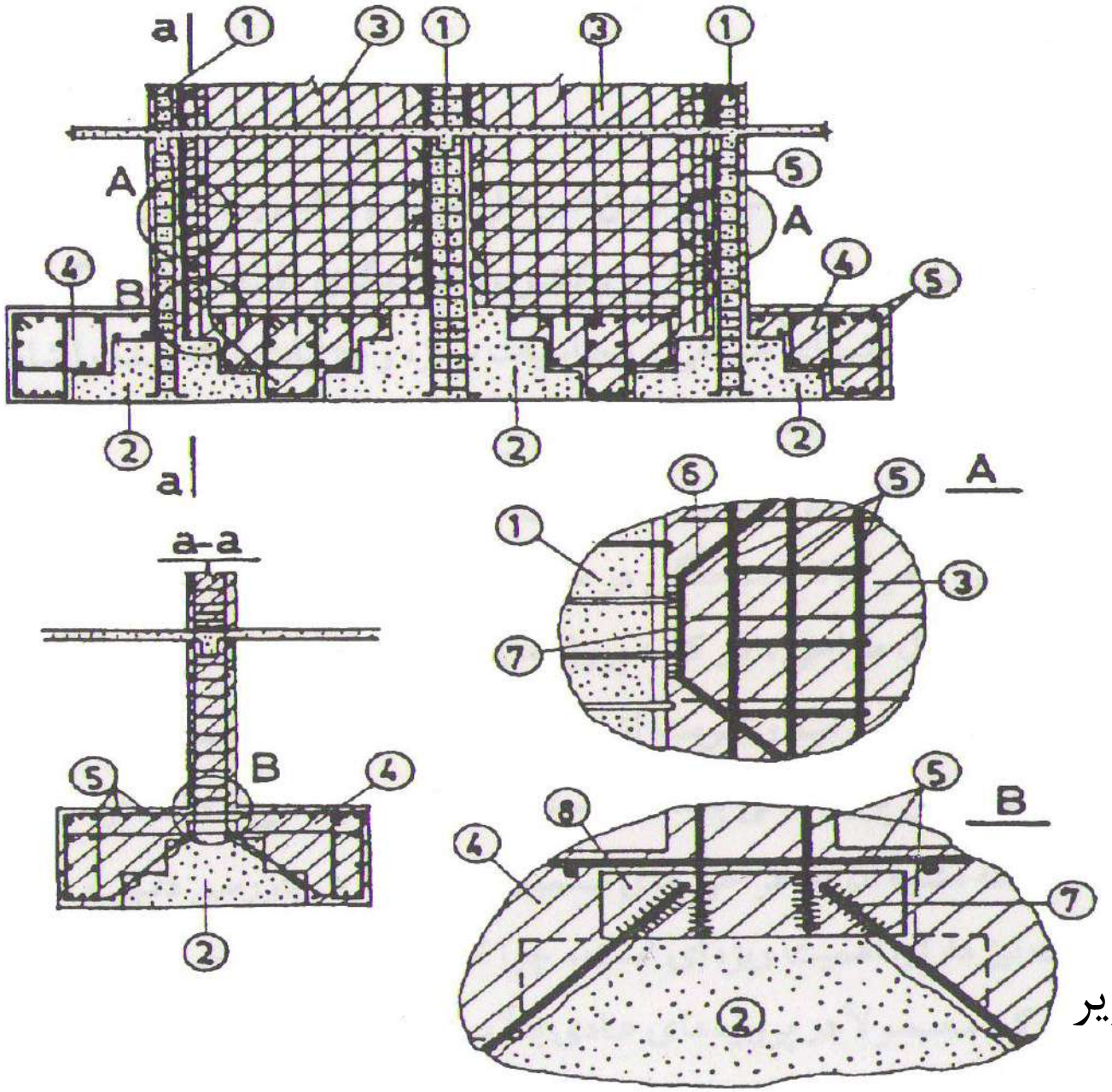
۳- دیوار برشی تقویتی

۴- بتن تقویتی

۵- آرماتورهای تقویتی

۶- ورقهای جوش شده

شکل۴۶- فونداسیون زیر دیوار برشی اضافه شده



۱-ستون موجود

۲- فونداسیون موجود

۳- دیوار برشی تقویتی

۴- بتن تقویتی

۵- آرماتورهای تقویتی

۶- میلگردهای مهاری قطری

۷- جوش

۸- ورق فولادی

شکل۴۷- فونداسیون زیر دیوار برشی اضافه شده

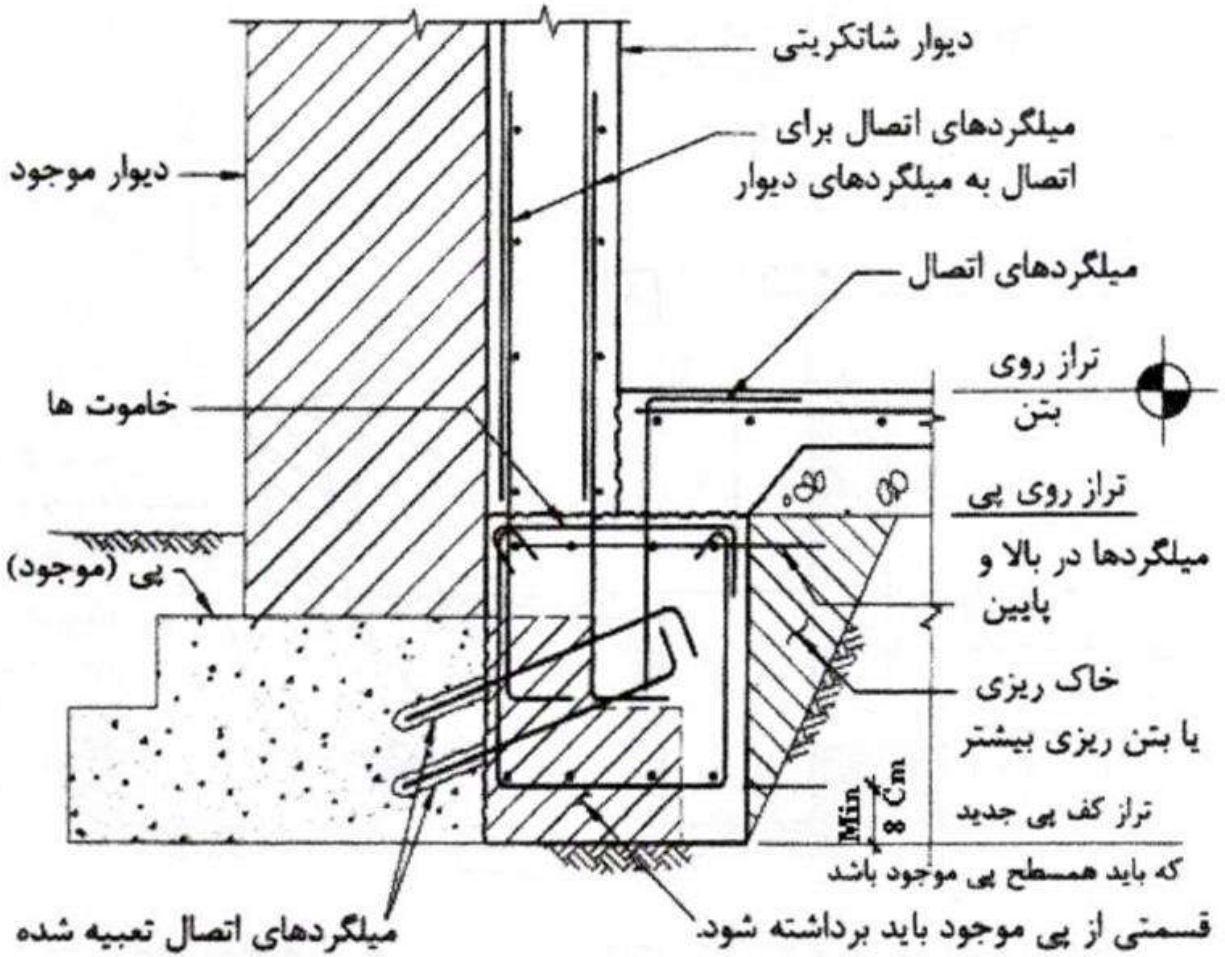
۳- افزودن پی سطحی در مجاورت پی سطحی موجود

اگر پوشش بتنی جدید بر روی دیوار موجود استفاده شود، معمولا به پی جدیدی نیاز خواهد بود(شکل ۴۸).

یک روش این می تواند باشد که فرض کنیم پی جدید به تنهایی بارهای ناشی از پوشش جدید دیوار را تحمل کند.

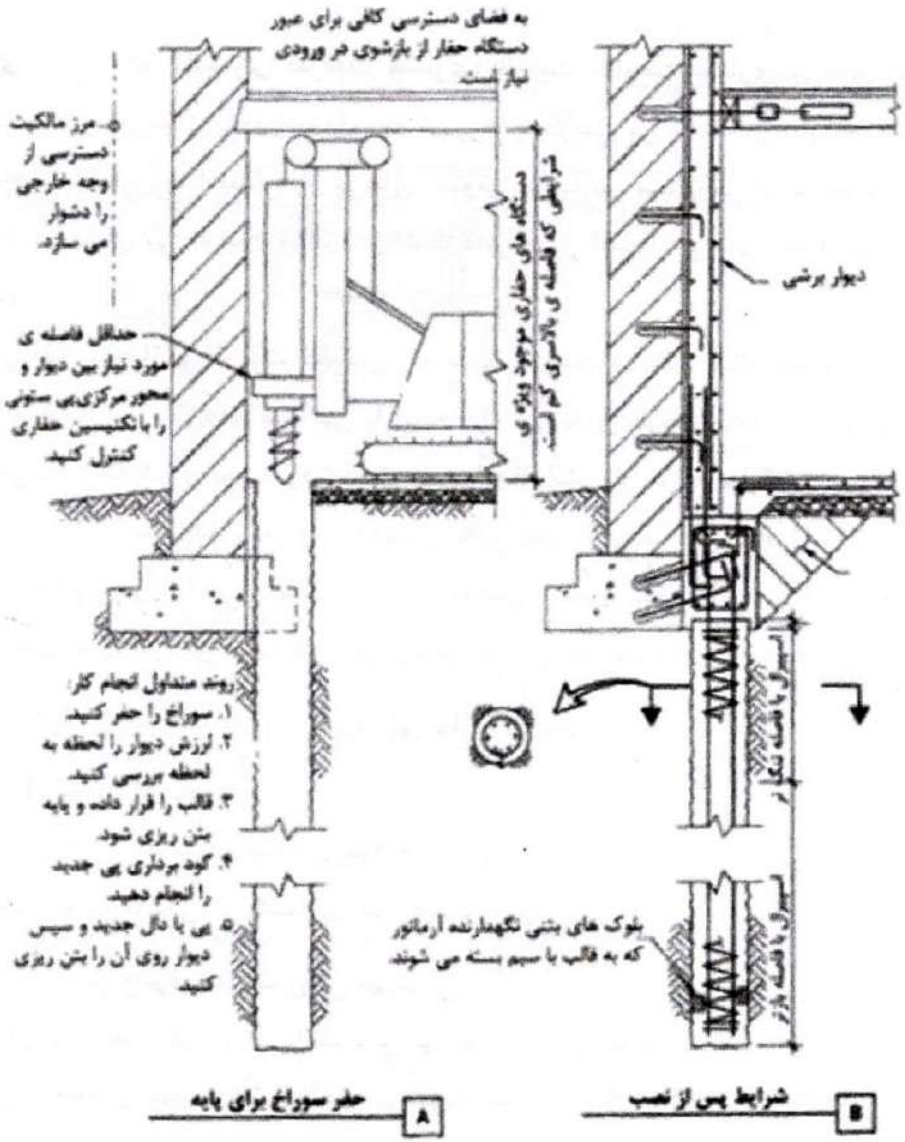
روش دیگر تقسیم بار میان پی جدید و پی موجود بر اساس سطح آنهاست.

با استفاده از میلگردهای اتصال پی جدید را به پی موجود بایستی متصل نمود. و در صورت ضعیف بودن پی موجود برای بارهای خود می توان آرماتورهای اضافی در پی جدید قرار داد.



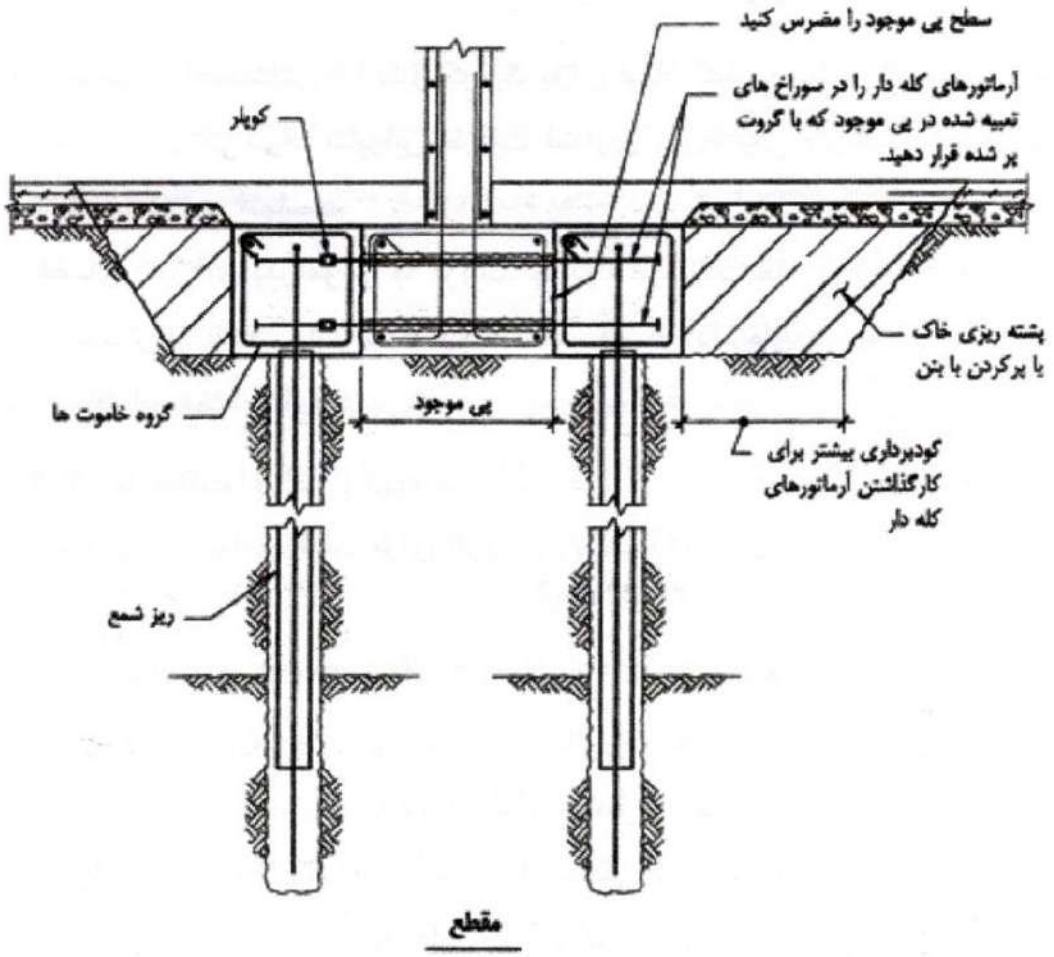
شکل۴۸- فونداسیون زیر دیوار برشی اضافه شده

۴- تقویت پی سطحی با اجرای پی عمیق در مجاورت پی سطحی موجود



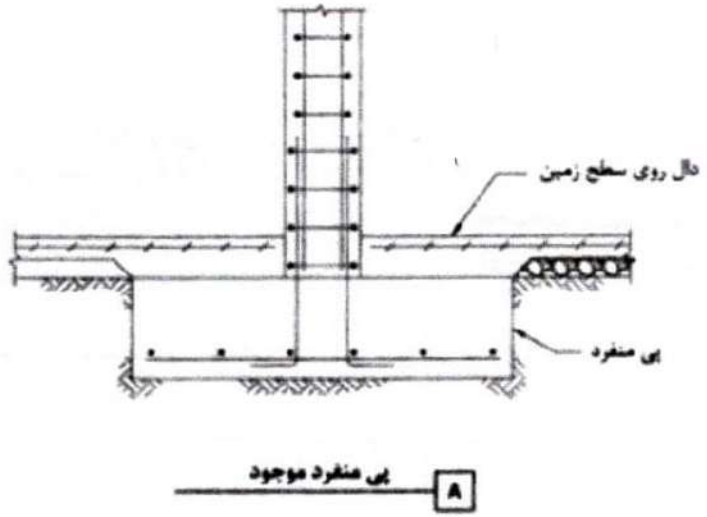
شکل۴۹- اجرای پی عمیق در جای جدید در کنار پی نواری موجود

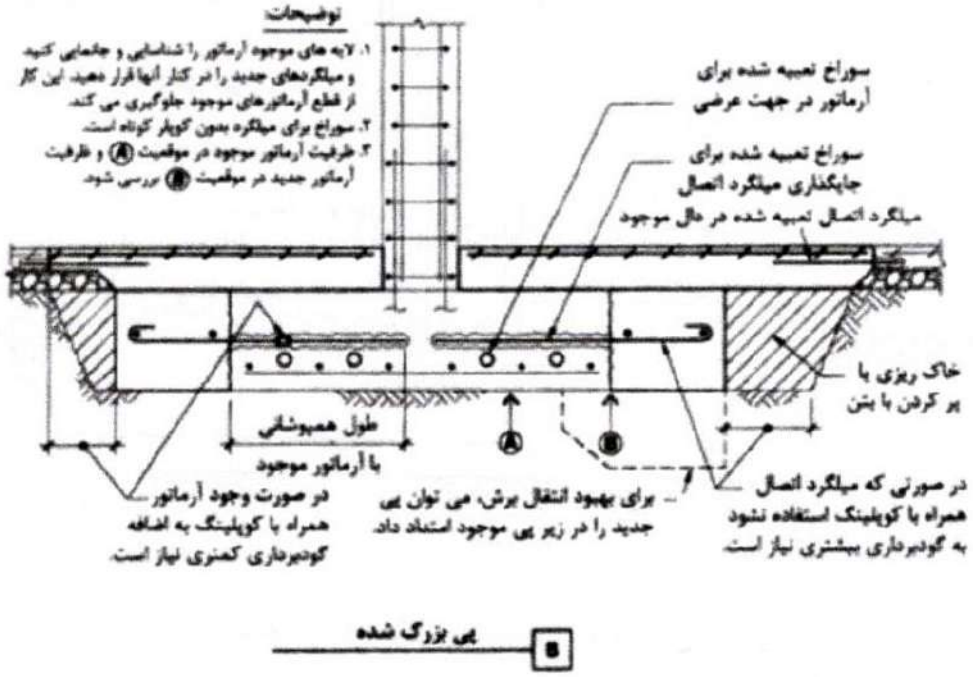
۵- تقویت پی نواری با افزودن ریز شمع ها در مجاورت پی نواری موجود



شکل ۵۰- تقویت پی نواری با ریز شمع و افزایش سطح پی

۶- تقویت پی منفرد با افزودن سطح پی





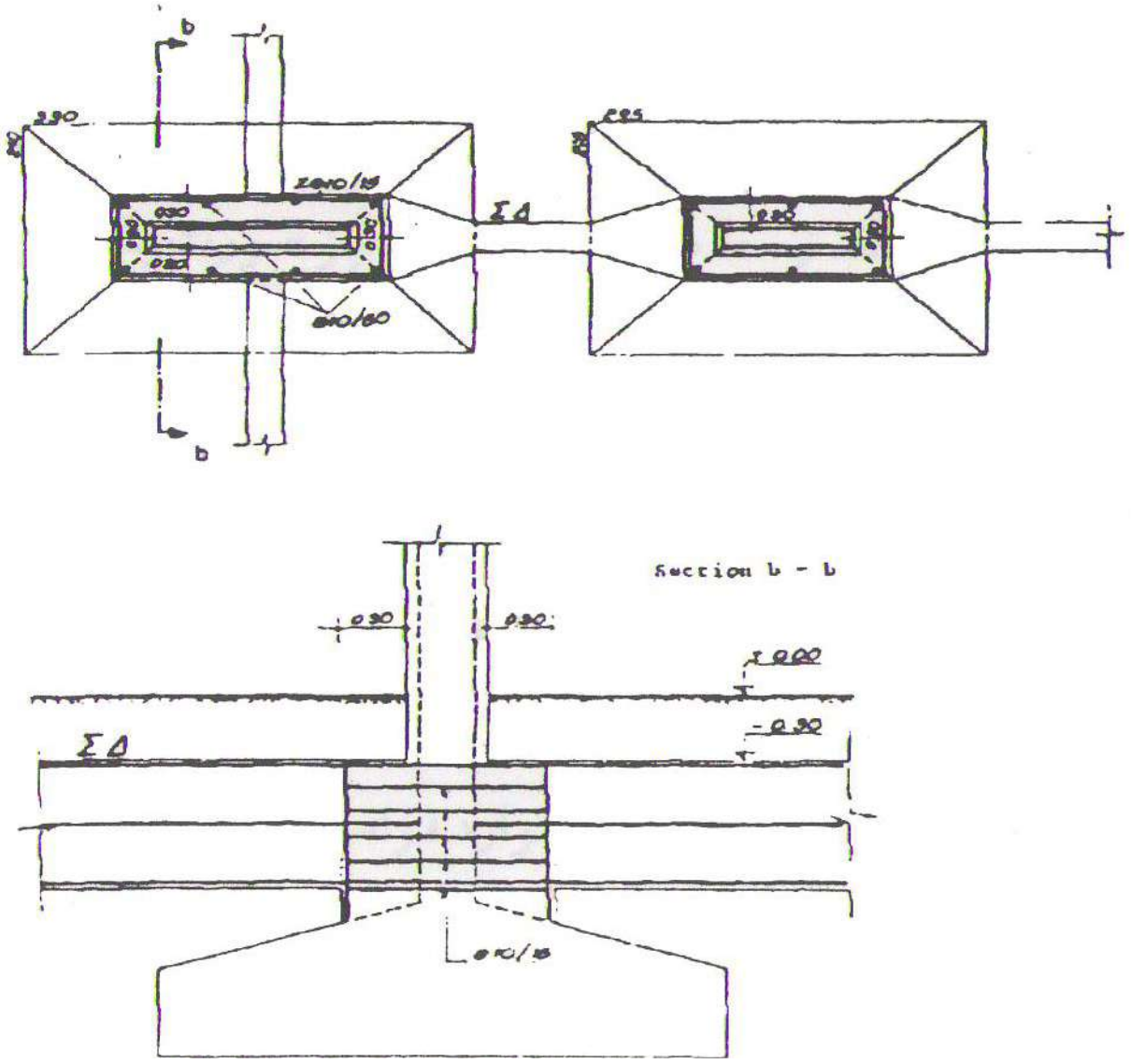
شکل ۵۱- تقویت پی منفرد با افزایش سطح پی

۷- تقویت فونداسیون با اصلاح خاک زیر فونداسیون

اصلاح خاکهای ریز دانه با تزریق دوغاب سیمان جهت متراکم نمودن آن صورت می گیرد.

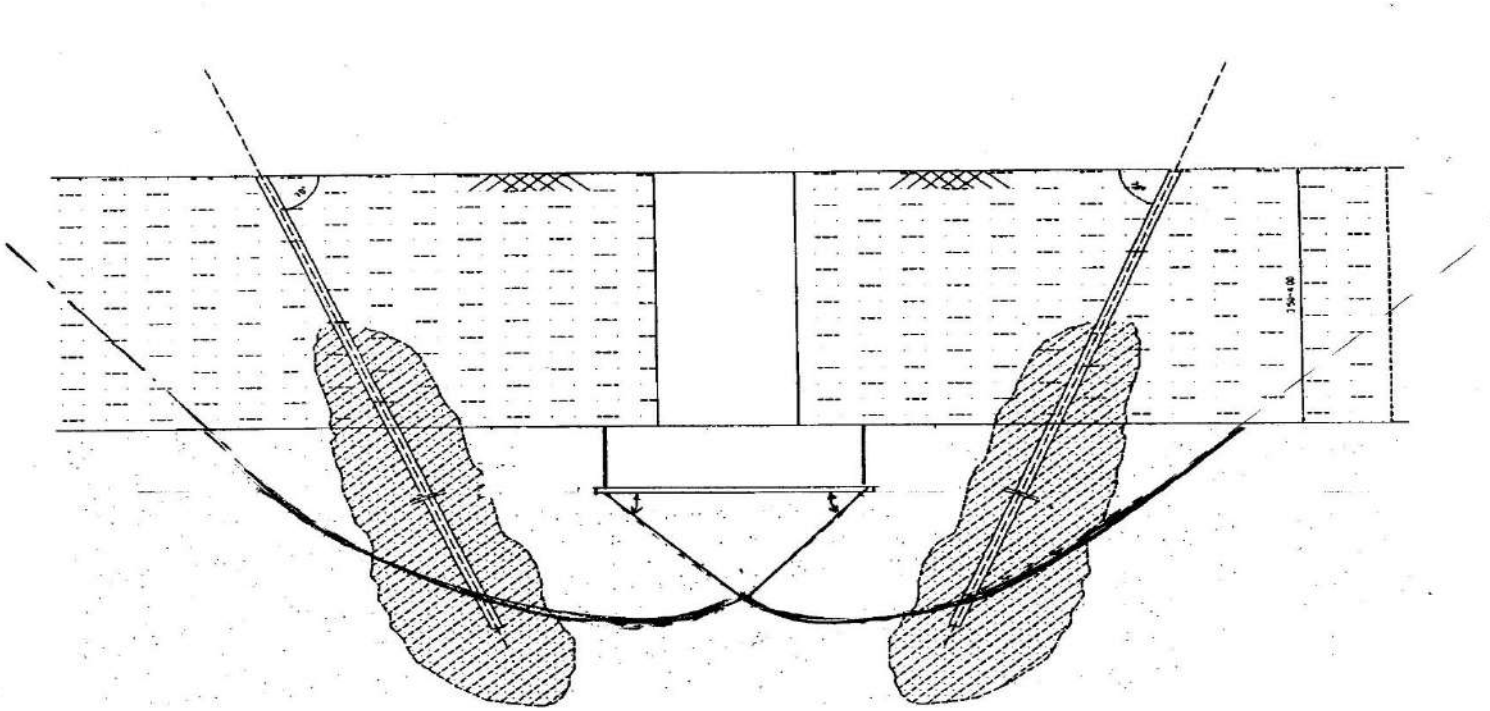
اگر نفوذ پذیری خاک بیشتر باشد، با تزریق مواد شیمیایئ و یا دوغاب سیمان بطرق مختلف از جمله از طریق میکرو پایل و ... می توان مقاومت خاک را بالا برد و از آبگونگی در هنگام زلزله نیز جلوگیری کرد.

اضافه نمودن کلاف به فونداسیون از طرفی باربری فونداسیون را افزوده و از طرف دیگر باعث یکپارچگی فونداسیون می گردد. یک روش برای اضافه کردن کلاف برای ستونهای زره پوش در شکل ۵۲ نشان داده شده است. کلاف باید دارای آرماتور ممتد و طول مهاری کافی با فونداسیون داشته باشد.



شکل۵۲- تقویت فونداسیون با اجرای کلاف بین دو فونداسیون

افزایش ظرفیت باربری فونداسیون با بهبود وضعیت خاک به کمک ریز شمع(میکرو پایل)

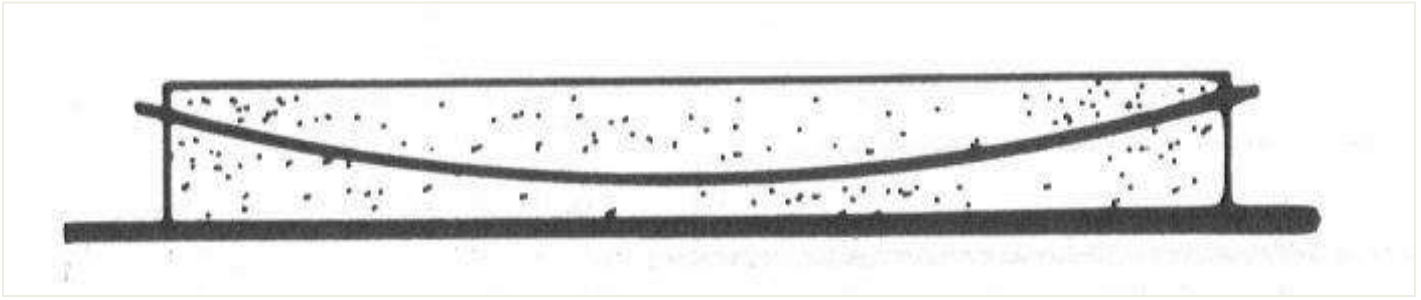


شکل۵۳- تقویت فونداسیون با افزایش ظرفیت باربری خاک

تقویت سازه های بتنی با پیش تنیدگی به روش

پس کشیده کردن

POST TENSION STRENGHTENING



شکل۵۵- کابل با مقاومت بالا جهت تقویت سازه با روش پس کشیدگی

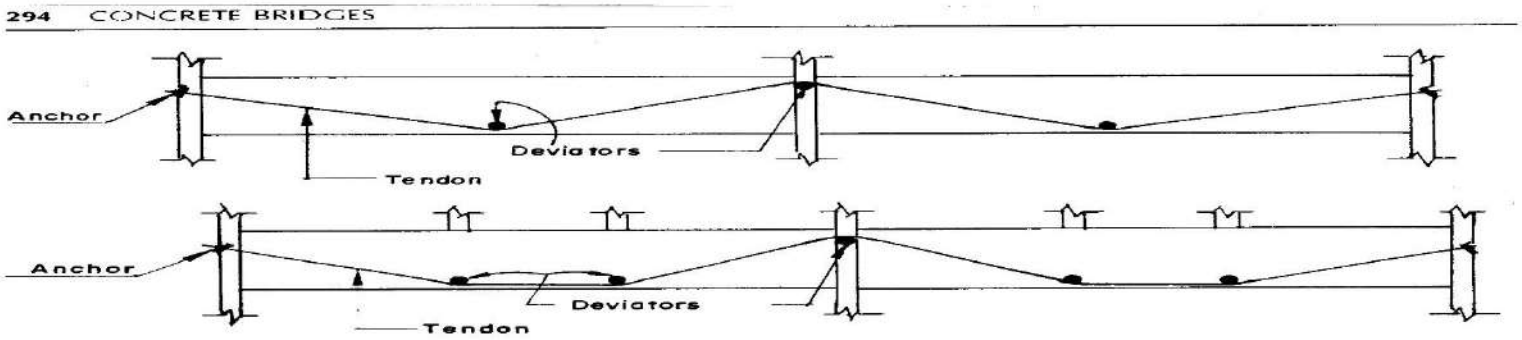


Fig. 8.1 Basic arrangements of external tendons

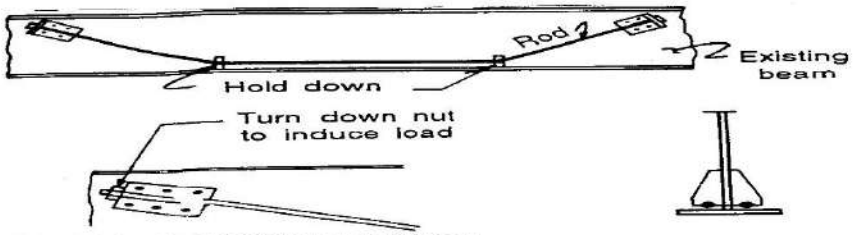


Fig. 7.21 Prestressing a steel beam

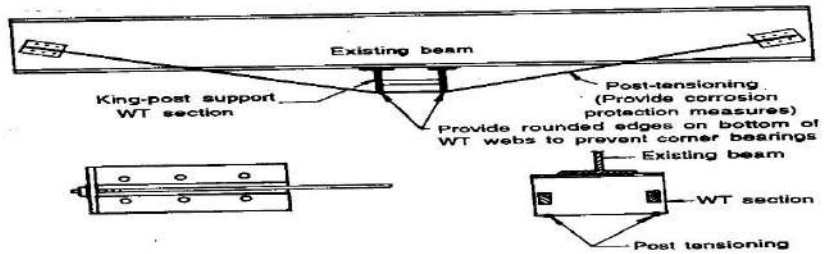


Fig. 7.22 King-truss type prestressing

شکل۵۶- تقویت سازه با روش پس کشیدگی از طریق کابلها

شکل ۵۷- نمونه ای از تقویت پل سعید آباد با استفاده از کابلهای پس تنیده

شکل ۵۸- نمونه ای از تقویت پل سعید آباد با استفاده از کابلهای پس تنیده

شکل۵۹- تقویت سازه با روش پس کشیدگی از طریق کابلها

شکل ۶۰- تقویت سازه با روش پس کشیدگی از طریق کابلها

شکل۶۱- تقویت سازه با روش پس کشیدگی از طریق کابلها

شکل ۶۲ -تقویت سازه با روش پس کشیدگی از طریق کابلها