

# آژند

۱

فصلنامه علمی - تخصصی انجمن علمی عمران-آژند  
دانشگاه ملی مهارت واحد استان کرمان  
سال اول - شماره ۱ - پاییز ۱۴۰۴



## شناسنامه :

صاحب امتیاز :

دانشکده شهید چمران کرمان

مدیر مسئول :

علیرضا تقی پور

سر دبیر :

امیر حسین آرمونتین

استاد مشاور انجمن علمی :

دکتر محمد مصطفی جعفری

زمینه انتشار :

علمی، تخصصی

ویراستار ادبی :

مهدی رستمی راوری

تاریخ / ترتیب انتشار :

۱۴۰۴/۰۹/۲۸ / فصلنامه

## هیئت تحریریه :

مهدی رستمی راوری

محمد علی جهانشاهی

محمد مهدی باغلی

علیرضا تقی پور

ابوالفضل باغلی

امیر حسین آرمونتین

راه های ارتباطی :

 @anjoman\_azhand\_omran

 azhandscienceassociation@gmail.com

 kerman.tvu.ac.ir

# سخن مدیر مسئول



## علیرضا تقی پور؛ دانشجوی کارشناسی عمران دانشکده شهید چمران کرمان

به نام پیوند دهنده اجزای آفرینش هر مسیری که در علم آغاز می‌کنیم، گامی است به سوی دانش بیشتر و یافتن راه‌حل برای نیازهای مهندسی جامعه. ما، دانشجویان نسل امروز، می‌دانیم که انرژی و ایده‌های تازه چقدر می‌تواند این مسیر را روشن و پویا کند. با انگیزه و پشتکار جمعی، فصلنامه علمی - تخصصی «آژند» را بنیان گذاشتیم؛ نشریه‌ای که نامش یادآور ساختار و بنیاد هر سازه است و هدفش به اشتراک گذاشتن دانش، پژوهش‌های نوین، و ایجاد فضایی برای تبادل تجربه میان دانشجویان و مهندسين جوان می‌باشد. پس از ماه‌ها تلاش و همکاری مستمر، خوشحالیم که نخستین شماره «آژند» را تقدیم جامعه علمی و مهندسی کشور می‌کنیم. امیدواریم این نشریه، بستری باشد برای رشد علمی، گفت‌وگو درباره پژوهش‌های نو، و ایجاد ارتباطی مستمر میان علاقه‌مندان به عمران و مهندسی. با امید، به آینده‌ای روشن و پویا

# سخن سردبیر



## امیر حسین آرمونتن؛ دانشجوی کارشناسی عمران دانشکده شهید چمران کرمان

به نام خداوند جان و خرد خدا را شاکریم که توفیقی حاصل شد تا بتوانیم نخستین فصلنامه نشریه آژند را با افتخار تقدیم علاقه‌مندان و فعالان حوزه مهندسی عمران نماییم. در این شماره از نشریه، تلاش کرده‌ایم تا مقالات و مطالبی پیرامون کاربردهای گسترده مهندسی عمران در توسعه زیرساخت‌ها و پیشرفت جوامع ارائه کنیم تا گامی هرچند کوچک در معرفی ابعاد وسیع این علم و بررسی جایگاه آن در جهان برداشته باشیم. جا دارد از تمامی نویسندگان، پژوهشگران، مترجمان و همراهانی که در مسیر تهیه و تدوین این شماره ما را یاری کردند، صمیمانه سپاسگزاری نمایم. همچنین از جناب آقای مهدی رستمی راوری و جناب آقای محمدعلی جهانشاهی بابت همراهی‌ها و حمایت‌های ارزشمندشان کمال تشکر و قدردانی را دارم. در پایان، بر خود لازم می‌دانم از اساتید ارجمند، جناب آقای دکتر محمدمصطفی جعفری و سرکار خانم دکتر ملیحه ضیا، به دلیل حمایت‌ها، راهنمایی‌ها و الطاف ارزشمندشان نسبت به این مجموعه، نهایت سپاس و قدردانی را ابراز نمایم.

# فهرست

## ۱ پروژه ها و سازه های شاخص

- بررسی نحوه ساخت برج ترنینگ تورسو

## ۷ مهندسی اجرایی سازه

- بتن ریزی حجیم ، مدیریت دما و چالش های اجرایی

## ۱۳ ژئو تکنیک ، راه ، ترابری و زیرساخت

- بررسی گودبرداری به روش بالا-پایین

## ۱۸ مرمت ، تعمیر و نگهداری

- بررسی نحوه مقاوم سازی به روش ژاکت بتنی

## ۲۴ فناوری های نوین عمران و محیط زیست

- روند تصفیه فاضلاب و تاثیرات عدم تصفیه فاضلاب بر محیط زیست

## ۲۸ معرفی کتاب ، نرم افزار

- کتاب تکنولوژی و طرح اختلاط بتن
- نرم افزار ETABS



# پروژه ها و سازه های شاخص

## بررسی نحوه ساخت برج ترنینگ تورسو



نویسنده:

علیرضا تقی پور  
دانشجوی کارشناسی عمران  
دانشکده شهید چمران کرمان

### مقدمه

برج ترنینگ تورسو<sup>۱</sup> یکی از شاخص‌ترین سازه‌های معاصر جهان است؛ برجی که نه تنها به عنوان یک شاهکار معماری شناخته می‌شود، بلکه از نظر مهندسی سازه نیز نمونه‌ای بی‌بدیل از ترکیب خلاقیت، فناوری و تحلیل‌های پیشرفته است. این برج در شهر مالمو سوئد قرار دارد و توسط معمار، مهندس و هنرمند اسپانیایی سانتیاگو کالاتراوا<sup>۲</sup> طراحی شده است؛ کسی که الهام اصلی طرح را از چرخش بدن انسان و مجسمه‌ی شخصی خود گرفته بود.

این اثر نمونه بارزی از معماری بیومورفیک<sup>۳</sup> است که در آن فرم‌های طبیعی به ساختارهای صلب مهندسی تبدیل می‌شوند. چالش اصلی در تبدیل این کانسپت به واقعیت، حفظ پایداری سازه‌ای در یک فرم پیچشی ۹۰ درجه بود که نیازمند تحلیل‌های دقیق غیرخطی و استفاده از سیستم‌های سازه‌ای پیشرفته برای مقابله با بارهای جانبی و لنگرهای پیچشی ناشی از هندسه خاص بناست.

ترنینگ تورسو در سال ۲۰۰۵ افتتاح شد و با ارتفاع ۱۹۰ متر، عنوان بلندترین برج مسکونی اسکاندیناوی را به خود اختصاص داد. فرم پیچشی برج، سیستم سازه‌ای ترکیبی و اجرای پیچیده‌ی آن، این پروژه را به یکی از مهم‌ترین نمونه‌های مهندسی سازه در قرن ۲۱ تبدیل کرده است.

### مشخصات کلی پروژه

- مکان: مالمو، سوئد
- معمار: سانتیاگو کالاتراوا
- کاربری: مسکونی - اداری - تجاری
- ارتفاع: ۱۹۰ متر
- تعداد طبقات: ۵۴ طبقه
- تعداد واحدهای مسکونی: ۱۴۹ واحد
- سیستم سازه‌ای: هسته بتنی + اسکلت فولادی خارجی
- زمان ساخت: ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴

فرم برج از ۹ مکعب پنج طبقه تشکیل شده که در مسیر صعود، در مجموع ۹۰ درجه حول محور مرکزی می‌چرخند. این چرخش تدریجی، هویت اصلی برج را شکل می‌دهد.

### فونداسیون و زیرساخت

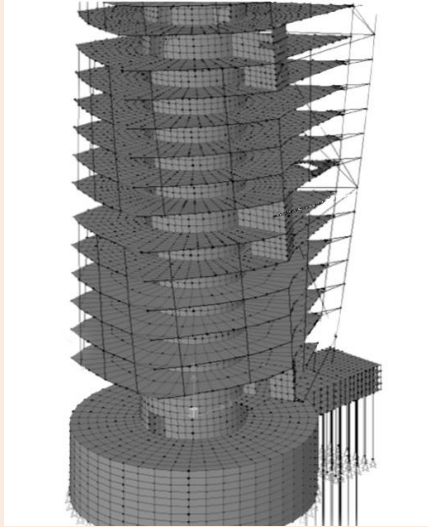
**چالش اصلی:** خاک ضعیف و نیاز به پایداری بالا

محل احداث برج در منطقه‌ای با خاک نسبتاً سست قرار داشت؛ اما در زیر این خاک سست یک سنگ بستر آهکی مناسب برای ایجاد یک آسمان خراش وجود داشت که باید فونداسیون بارهای وارده را، به این سنگ بستر آهکی منتقل می‌کرد.

1- Turning Torso  
2 - Santiago Calatrava  
3 - Biomorphic Architecture

بتن ریزی این فونداسیون حجیم با استفاده از شانزده کامیون به مدت ۷۲ ساعت به صورت پیوسته انجام شد؛ یک چالش بسیار مهم که در بتن ریزی این فونداسیون وجود داشت کنترل دما بتن این فونداسیون بود که قبل از اجرا، نحوه بتن ریزی توسط سیستم هایی شبیه سازی شد و زمان اجرا بتن ریزی، دما بتن به صورت مستمر چک و مورد بررسی قرار می گرفت.

این فونداسیون عظیم، نقش لنگرگاه اصلی برج را در برابر بادهای شدید، پیچش و خمش ایفا می کند. (شکل ۱-۱)



(شکل ۱-۱) مدل سازی انجام شده قسمت پایینی ساختمان

### هسته بتنی

هسته‌ی مرکزی، ستون فقرات اصلی سازه است و تمام بارهای قائم و بخش عمده‌ای از بارهای جانبی را تحمل می‌کند؛ ابعاد و ضخامت هسته در ترازهای مختلف، متغیر بوده و به سمت بالا ابعاد آن کاهش می‌یابد. بنابراین در طبقات بالاتر فضای مفید بیشتری وجود دارد.

ویژگی‌های هسته

- قطر داخلی: ۱۱ متر
- ضخامت دیوارها :
- پایین برج: ۲/۵ متر
- بالای برج: ۰/۴ متر
- کاربری داخلی: پله‌ها، آسانسورها و تأسیسات

بنابراین طراحی فونداسیون باید ظرفیت باربری بسیار بالایی ایجاد می‌کرد. اما نکات حائز اهمیت در طراحی فونداسیون، استفاده از دو سیستم متفاوت که باید برای این برج استفاده می‌شد یک فونداسیون استوانه‌ای عظیم برای تحمل بارهای وارده به هسته برج با مشخصات زیر:

قطر فونداسیون: ۳۰ متر

- عمق: ۷ متر
- نوع بتن: بتن خودتراکم
- حجم بتن‌ریزی: حدود ۵۱۰۰ مترمکعب
- مدت اجرا: ۳ شبانه‌روز بدون توقف

یک فونداسیون مستطیل شکل با تعداد شمع زیاد برای تحمل بارهای خرپا فولادی نیاز بود؛ دلیل استفاده از شمع برای فونداسیون سازه فولادی وجود نیروهای زیاد پیچشی در این خرپا بود که بتوانند با استفاده از این شمع‌ها نیروها را به خوبی مهار کنند. همچنین عمق شمع‌ها باید تا سنگ بستر آهکی ادامه می‌داشت.

در مرحله اول باید گودبرداری صورت می‌گرفت به دلیل وجود خاک سست پایدار سازی گود با سپر کوبی انجام شد؛ سپر کوبی این سازه برای گود برداری توسط دستگاه‌های خریداری شده از شرکت دانمارکی انجام شد.

شبه‌ی آرماتوربندی فونداسیون حدود ۶۰۰ تن فولاد داشت و میلگردهای تقویتی با قطر ۹۱ میلی‌متر استفاده شدند که از سنگین‌ترین مقاطع موجود در بازار بودند.

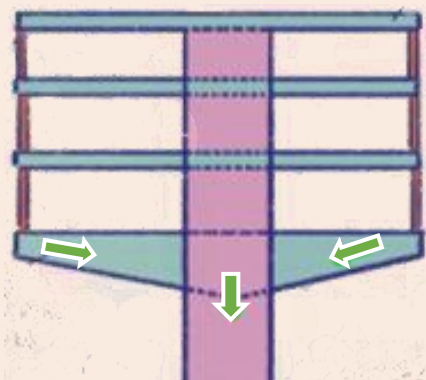
با توجه به ارتفاع زیاد و عرض نسبتاً کم برج، پدیده بلندشدگی<sup>۱</sup> یکی از چالش‌های اصلی در طراحی پی بود. برای مقابله با نیروهای کششی ناشی از لنگر واژگونی تحت بار باد، فونداسیون برج در سنگ بستر آهکی مالمو مهار شده است. ضخامت ۷ متری دال پی به همراه این مهارسازی، صلبیت لازم برای انتقال بارهای سنگین هسته مرکزی به زمین را فراهم آورده و توزیع تنش یکنواختی را تضمین می‌کند.

## روش اجرا:

برای اجرای دال‌ها از قالب‌های فلزی مثلث شکلی استفاده شد که کنار هم قرار گرفته و پلان مستطیلی طبقات را شکل می‌دادند.

نکته مهم در تمام دال‌ها و دیوارهای داخلی از بتن خودتراکم استفاده شد تا نیاز به ویبره حذف شود و کیفیت سطح و تراکم بتن افزایش یابد؛ بتن ریزی دال‌ها و هسته مرکزی هر طبقه به صورت همزمان انجام می‌شد.

سقف زیرین هر مکعب اجرا شده به صورت دال مخروطی اجرا شده تا بارهای ستونک‌ها به هسته مرکزی برج منتقل شوند. (شکل ۳-۱)



(شکل ۳-۱) نحوه انتقال بار در دال مخروطی شکل

## سازه فولادی خارجی

این بخش یکی از جذاب‌ترین و پیچیده‌ترین قسمت‌های پروژه است.

اجزای اصلی اسکلت فولادی

- ستون فقرات فولادی
- پشت‌بندهای ضربدری
- پشت‌بندهای افقی
- دیوارهای برشی جانبی

هسته با استفاده از قالب لغزنده<sup>۱</sup> اجرا شد که امکان بتن‌ریزی مداوم و بدون درز سرد را فراهم می‌کرد. پس از بتن‌ریزی هر بخش، قالب‌ها با جک‌های هیدرولیکی که به وسیله شفت‌هایی که به بتن قبلی متصل می‌شوند بالا کشیده می‌شد. این روش سرعت اجرا را بالا برده و امکان بتن‌ریزی پیوسته را فراهم کرد. (شکل ۲-۱)

ضخامت دیوارهای هسته به صورت مخروطی از ۲/۵ متر در طبقات پایینی به ۰/۴ متر در طبقات انتهایی کاهش می‌یابد. این بهینه‌سازی در ضخامت، علاوه بر کاهش وزن مرده سازه، منجر به انتقال مرکز ثقل به ترازهای پایین‌تر و در نتیجه افزایش پایداری دینامیکی برج در برابر نوسانات شده است.



(شکل ۲-۱) بتن ریزی هسته و دال بتنی سازه

## سقف‌ها و دال‌های سازه‌ای

هر طبقه شامل یک دال بتنی یکپارچه است که به هسته مرکزی متصل می‌شود.

مشخصات دال‌ها:

ضخامت دال‌ها: ۰/۲۷ تا ۰/۳ متر

نوع بتن: بتن مسلح، اجرا درجا

اتصال: یکپارچه با هسته مرکزی

## نمای برج

به دلیل چرخش تدریجی برج، نمای آن دارای هندسه‌ی دو انحنایی<sup>3</sup> است که ساخت آن را بسیار دشوار می‌کند.

مشخصات نما:

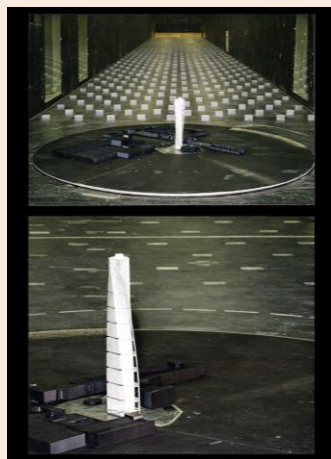
- تعداد پنل‌ها: حدود ۲۸۰۰
- تعداد پنجره‌ها: ۲۲۵۰
- جنس: آلومینیوم + شیشه
- عایق کاری: مطابق استانداردهای حرارتی سوئد نصب هر پنل نیازمند دقت بسیار بالا بود، زیرا زاویه‌ی قرارگیری پنجره‌ها بسته به موقعیت در برج متفاوت است و گاهی به سمت داخل یا خارج انحراف دارد.

## تست تونل باد

ترنینگ تورسو در تونل باد دانشگاه اونتاریو غربی تست شد. نتایج نشان داد:

- تست های تونل باد نشان داده اند که این آسمانخراش مارپیچ در مقایسه با یک آسمانخراش عادی، تحمل بیشتری در برابر باد دارد
- در شدیدترین بادهای صدساله، نوک برج تنها ۰/۳ متر جابه‌جا می‌شود.
- اگر سازه فولادی بود، این مقدار به ۰/۷ تا ۰/۸ متر می‌رسید.

این تست‌ها نقش مهمی در بهینه‌سازی طراحی سازه داشتند. (شکل ۱-۵)



(شکل ۱-۵) تست تونل باد سازه

این سازه‌ی خارجی، علاوه بر نقش معماری، وظیفه‌ی مقاومت در برابر پیچش و باد را بر عهده دارد.

اتصالات:

اتصال سازه فولادی به هسته بتنی توسط اتصالات ویژه طراحی شده؛ در دانشگاه اونتاریو غربی<sup>1</sup> کانادا با کمک بهترین متخصصان اروپایی، آمریکایی و کانادایی طراحی و انجام شد. این اتصالات باید:

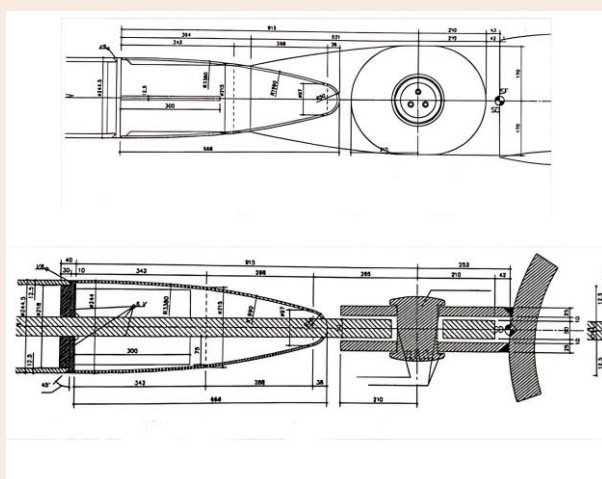
تغییر مکان‌های نسبی را تحمل کنند

نیروهای پیچشی را منتقل کنند

در برابر خستگی مقاوم باشند

این بخش از پروژه یکی از پیچیده‌ترین مراحل طراحی و اجرا بود. (شکل ۱-۴)

ارتباط میان اسکلت فولادی خارجی و هسته بتنی از طریق اتصالات مفصلی ویژه‌ای برقرار شده است. از آنجایی که ضریب انبساط حرارتی فولاد و بتن متفاوت است و بتن دچار پدیده خزش و انقباض<sup>2</sup> می‌شود، این اتصالات به گونه‌ای طراحی شده‌اند که اجازه حرکات جزئی را داده و از ایجاد تنش‌های پسماند در دال‌ها جلوگیری کنند. این اسکلت فولادی نه تنها بار کنسول‌ها را تحمل می‌کند، بلکه صلبیت پیچشی کل سیستم را تا ۲۵ درصد افزایش داده است.



(شکل ۱-۴) شماتیکی از اتصالات برج ترنینگ تورسو

- 1- The University of Western Ontario
- 2 - Creep & Shrinkage
- 3 - Double Curved

## جمع‌بندی

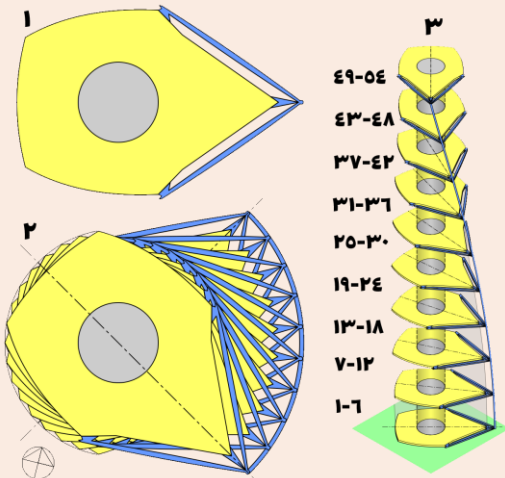


(شکل ۷-۱) اجرای نمای برج

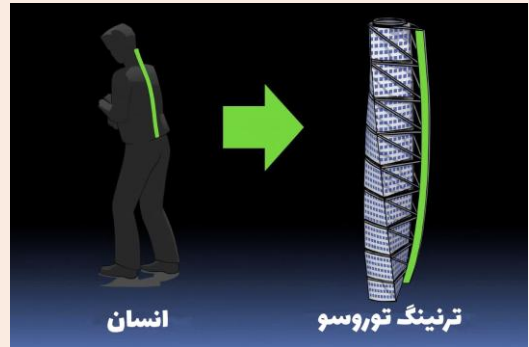
ترینگ تورسو نمونه‌ای درخشان از ترکیب هنر و مهندسی است؛ برجی که:

- فرم آن از بدن انسان الهام گرفته (شکل ۶-۱)
- سازه‌ای ترکیبی و پیچیده دارد (شکل ۷-۱)
- با فناوری‌های نوین مانند بتن خودتراکم و قالب لغزنده اجرا شده
- در برابر بادهای شدید بسیار پایدار است
- به‌عنوان یکی از نمادهای معماری معاصر اروپا شناخته می‌شود
- مجموعه هسته مرکزی و سازه فولادی خارجی احساس پویایی به فرم سازه داده است (شکل ۸-۱)

این پروژه نشان می‌دهد که چگونه خلاقیت معماری می‌تواند با مهندسی سازه هم‌افزایی ایجاد کند و نتیجه‌ای ماندگار بسازد.



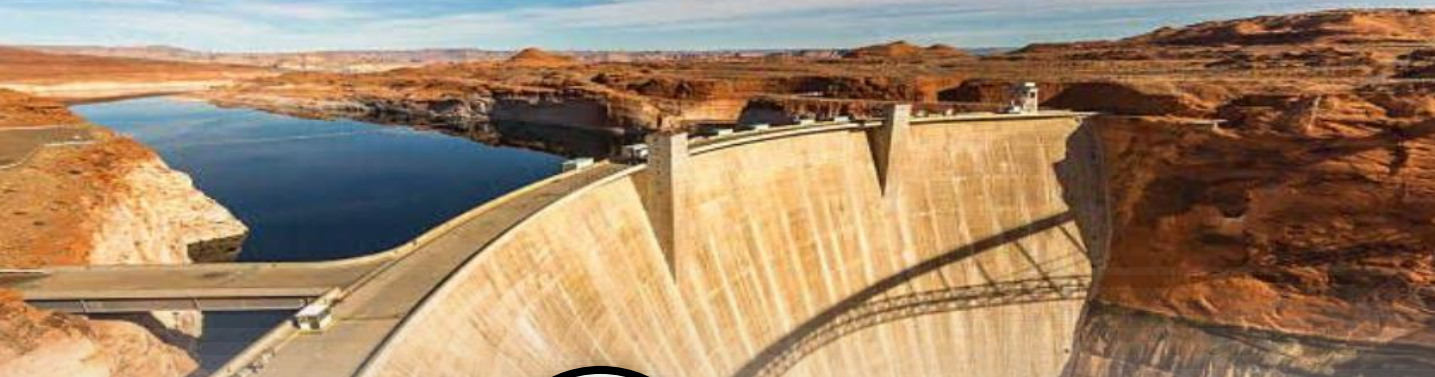
(شکل ۸-۱) شماتیک بلوک‌های چرخشی به همراه سازه خارجی



(شکل ۶-۱) فرم سازه فلزی الهام گرفته شده از ستون فقرات انسان است



# مهندسی اجرایی سازه



نویسنده:

علیرضا تقی پور  
دانشجوی کارشناسی عمران  
دانشکده شهید چمران کرمان



## بتن ریزی حجیم ، مدیریت دما و چالش‌های اجرایی

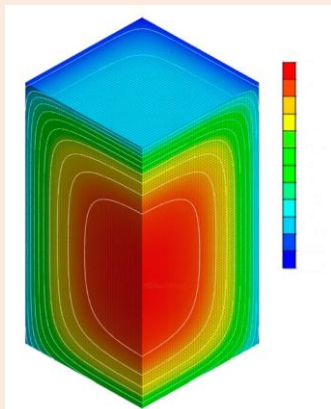
مقدمه

### تعریف و معیارهای بتن‌ریزی حجیم

بر اساس تعریف ارائه شده در آیین نامه بتن آمریکا بتن‌ریزی حجیم به بتن‌ریزی‌هایی اطلاق می‌شود که در آن گرمای ناشی از واکنش هیدراسیون سیمان، موجب افزایش دمای داخلی بتن شده و اختلاف دمای قابل توجهی بین مرکز و سطح بتن ایجاد می‌کند. (شکل ۱-۲)

این اختلاف دما در صورت مهارشدگی سازه، منجر به ایجاد تنش‌های کششی و ترک‌خوردگی حرارتی می‌شود.

آیین‌نامه بتن ایران (آبا) نیز با رویکردی مشابه، بر کنترل دمای بتن، محدودسازی دمای حداکثر و کاهش اختلاف دمای مرکز و سطح تأکید دارد. نکته قابل توجه آن است که در بسیاری از موارد، بتن‌ریزی‌هایی با ابعاد متوسط نیز در صورت شرایط محیطی نامناسب یا مصرف سیمان با حرارت هیدراسیون بالا، می‌توانند در دسته بتن‌ریزی‌های حجیم قرار گیرند.



(شکل ۱-۲) مدل سازی حرارت هیدراسیون سیمان در بتن

افزایش مقیاس پروژه‌های عمرانی در دهه‌های اخیر، منجر به گسترش استفاده از سازه‌های بتنی حجیم در پروژه‌هایی نظیر سدها، نیروگاه‌های حرارتی و هسته‌ای، سازه‌های صنعتی سنگین، فونداسیون ماشین‌آلات بزرگ و شالوده‌های عمیق شده است. مطابق با تعاریف استاندارد، هرگاه ابعاد سازه بتنی به گونه‌ای باشد که اقدامات خاصی برای کنترل گرمای ناشی از هیدراسیون سیمان و تغییرات حجم متعاقب آن جهت به حداقل رساندن ترک‌خوردگی لازم باشد، بتن "حجیم" تلقی می‌گردد. در چنین پروژه‌هایی، بتن‌ریزی حجیم به دلیل پیچیدگی‌های فنی و اجرایی، نیازمند مدیریت دقیق و تصمیم‌گیری آگاهانه در تمام مراحل اجرا است.

مطابق گزارش آیین نامه بتن آمریکا<sup>۱</sup> بخش عمده‌ای از آسیب‌های زود هنگام در سازه‌های بتنی حجیم، ناشی از عدم کنترل مناسب دمای بتن در سنین اولیه است. این موضوع اهمیت جایگاه مهندسی اجرایی سازه را بیش از پیش آشکار می‌سازد، چرا که بسیاری از مشکلات بتن‌ریزی حجیم نه در مرحله طراحی، بلکه در مرحله اجرا و به دلیل تصمیمات اجرایی نادرست ایجاد می‌شوند؛ کنترل رفتار حرارتی بتن در سنین اولیه نه تنها برای جلوگیری از ترک خوردگی اهمیت دارد، بلکه نقش تعیین کننده‌ای در دوام بلند مدت سازه و عملکرد آن در دوره بهره‌برداری ایفا می‌کند. از این رو، مدیریت حرارتی بتن حجیم به عنوان یکی از ارکان اصلی مهندسی اجرایی در پروژه‌های بزرگ شناخته می‌شود.

## نقش مهندسی اجرایی سازه در بتن‌ریزی حجیم



(شکل ۲-۳) نصب اجزای دستگاه مدل سازی حرارتی بتن

### عوامل مؤثر بر رفتار حرارتی بتن حجیم

**نوع و مقدار سیمان:** سیمان پرتلند مهم‌ترین عامل تولید حرارت در بتن است و افزایش دما داخلی بتن حجیم عمدتاً ناشی از هیدراسیون ترکیبات اصلی سیمان، به ویژه تری کلسیم آلومینات<sup>۲</sup> و سیلیکات تری کلسیم<sup>۳</sup> است. مطابق منابع آیین نامه بتن آمریکا، افزایش عیار سیمان به طور مستقیم موجب افزایش دمای اوج بتن می‌شود. از این‌رو، در بتن‌ریزی حجیم توصیه می‌شود از سیمان‌های کم‌حرارت یا ترکیبات سیمانی شامل مواد پوزولانی استفاده شود. (شکل ۲-۴)

استفاده از خاکستر بادی و سرباره، علاوه بر کاهش حرارت هیدراسیون، موجب بهبود دوام بتن در بلندمدت می‌شود. این رویکرد در آیین‌نامه آبا نیز مورد توجه قرار گرفته است.



(شکل ۲-۴) نمودار رفتار حرارتی سیمان در بتن‌ریزی

**طرح اختلاط بتن:** بر اساس مطالب ارائه‌شده در کتاب خواص بتن اثر نوپل<sup>۴</sup> انتخاب طرح اختلاط مناسب نقش اساسی در کنترل رفتار حرارتی بتن دارد. استفاده از حداکثر اندازه مجاز سنگدانه، کاهش نسبت آب به سیمان و پرهیز از مصرف بیش از حد سیمان از جمله راهکارهای توصیه شده هستند.

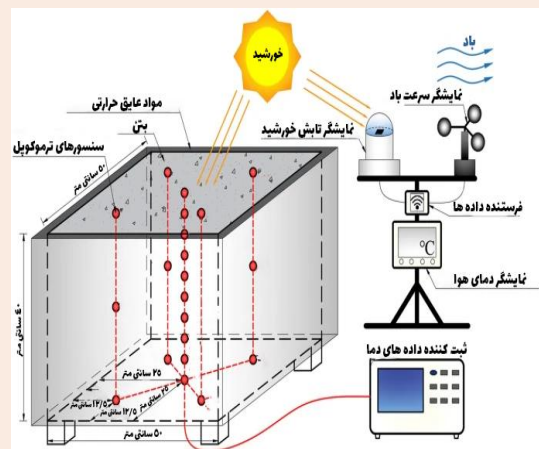
مهندسی اجرایی سازه در بتن‌ریزی حجیم، نقش هماهنگ‌کننده بین طراحی، تأمین مصالح و اجرای عملیات را ایفا می‌کند. بر اساس توصیه‌های آیین نامه بتن آمریکا، مهندس اجرایی باید پیش از شروع عملیات بتن‌ریزی، تحلیل مناسبی از شرایط حرارتی بتن انجام داده و سناریوهای محتمل افزایش دما و ایجاد ترک را بررسی نماید.

از دیدگاه اجرایی، وظایف مهندس اجرایی در این حوزه شامل موارد زیر است:

- بررسی و تأیید طرح اختلاط بتن از نظر حرارتی
- تطبیق روش اجرا با شرایط محیطی پروژه
- تعیین تمهیدات کنترلی متناسب با حجم و هندسه سازه
- نظارت بر اجرای صحیح عمل‌آوری و کنترل ترک‌ها

مطالعات ارائه‌شده در (انجمن پژوهش و اطلاع‌رسانی صنعت ساخت و ساز بریتانیا)<sup>۱</sup> نشان می‌دهد که اتخاذ تصمیمات پیشگیرانه در مرحله اجرا، مؤثرتر و اقتصادی‌تر از اقدامات اصلاحی پس از بروز ترک‌های حرارتی است.

در پروژه‌های حساس، استفاده از مدل سازی حرارتی می‌تواند به پیش‌بینی دقیق‌تر دمای اوج، نرخ سرد شدن و نقاط بحرانی ترک خوردگی کمک کند. این تحلیل به مهندسی اجرایی امکان می‌دهد پیش از شروع عملیات، سناریوهای مختلف را ارزیابی و بهترین راهکارهای کنترلی را انتخاب کند. (شکل ۲-۲) و (شکل ۲-۳)



(شکل ۲-۲) شماتیک دستگاه مدل سازی و آنالیز حرارتی

1- CIRIA C660

2- C3A

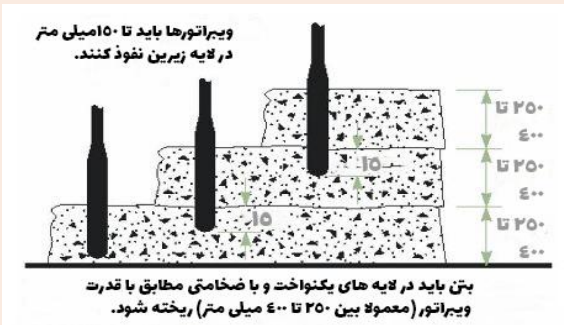
3- C3S

4- Properties of Concrete by A. M. Neville 2011

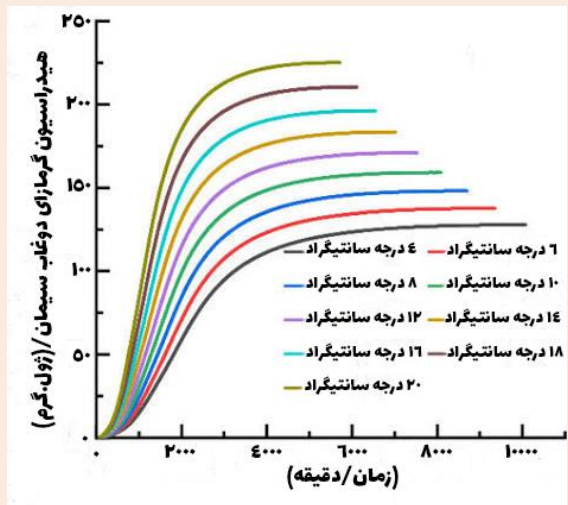
**شرایط محیطی و زمان اجرا:** مطابق آیین نامه بتن آمریکا<sup>۱</sup>، بتن‌ریزی در هوای گرم یکی از عوامل تشدید کننده افزایش دمای بتن است. دمای بالای هوا، کاهش رطوبت نسبی و وزش باد می‌توانند منجر به افزایش سرعت تبادل حرارت و ایجاد ترک‌های سطحی شوند. بنابراین، برنامه‌ریزی زمان بتن‌ریزی و پیش‌بینی تمهیدات کنترلی، بخشی جدایی‌ناپذیر از مهندسی اجرایی سازه محسوب می‌شود.

در چنین شرایطی، انتخاب زمان مناسب برای بتن‌ریزی مانند ساعات خنک‌تر شبانه‌روز (شکل ۲-۵) و استفاده از سایبان، مه پاش یا بادشکن می‌تواند به طور قابل توجهی از افزایش دمای اولیه بتن جلوگیری کند.

نکته اجرایی قابل ملاحظه در بتن‌ریزی به صورت لایه‌ای این مورد است، که باید به ویریه اصولی توجه شود. (شکل ۲-۶)



(شکل ۲-۶) شماتیک لایه بندی و مقدار نفوذ ویریه در بتن



(شکل ۲-۵) نمودار تاثیر دما محیط بر حرارت هیدراسیون

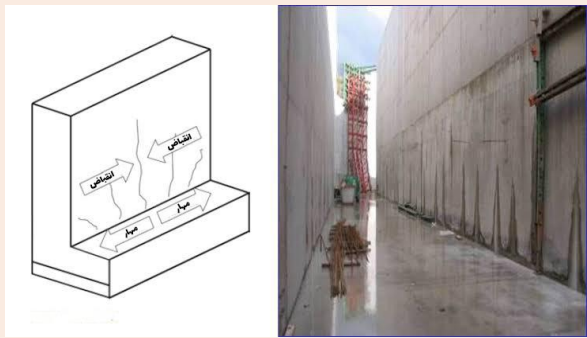
**روش‌های کنترل دمای بتن:** برای مدیریت پیک دمایی در پروژه‌های بزرگ، ترکیبی از روش‌های پیش‌سرمایش و پس‌سرمایش الزامی است.

در روش پیش‌سرمایش، کاهش دمای مصالح سنگی با استفاده از آب‌افشان یا نیتروژن مایع و جایگزینی بخشی از آب اختلاط با یخ خرد شده، دمای اولیه بتن را به شدت کاهش می‌دهد. در کنار این موارد، استفاده از سیستم لوله‌کشی<sup>۳</sup> در داخل قطعات حجیم و عبور جریان آب سرد، به عنوان یک روش کارآمد در دفع حرارت از مغز بتن شناخته می‌شود. همچنین، جایگزینی بخشی از سیمان پرتلند با پوزولان‌های طبیعی یا دوده سیلیسی، علاوه بر کاهش گرمای هیدراسیون، مقاومت در برابر پدیده مخرب (تأخیر در تشکیل اترینگایت)<sup>۴</sup> را افزایش می‌دهد.

**ملاحظات اجرایی بتن‌ریزی حجیم**

**لایه‌بندی و توالی بتن‌ریزی:** آیین نامه بتن آمریکا<sup>۲</sup> توصیه می‌کند که بتن‌ریزی حجیم به صورت لایه‌ای و با ضخامت محدود انجام شود. این روش امکان کنترل بهتر دما و کاهش تمرکز حرارت را فراهم می‌سازد. فاصله زمانی بین لایه‌ها باید به گونه‌ای انتخاب شود که از انباشت حرارت جلوگیری گردد.

1- ACI 305R  
 2- ACI 207.2R  
 3- Cooling Pipes  
 4- DEF



(شکل ۲-۸) نمونه توجه نشده به اختلاف دمایی و ایجاد ترک های کششی

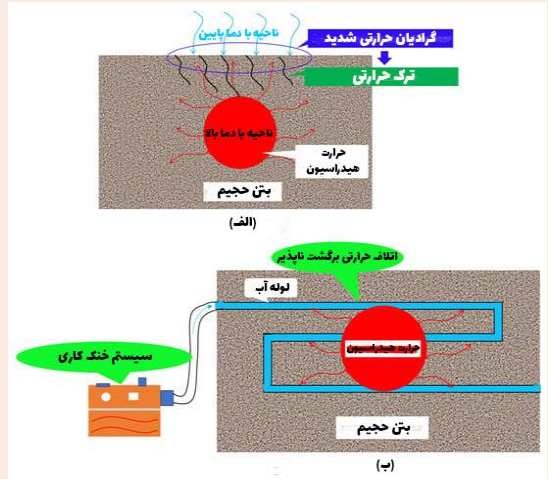
**عمل آوری و محافظت از بتن:** مطابق منابع آیین نامه بتن آمریکا، عمل آوری مناسب نقش مهمی در کاهش اختلاف دمای سطح و مرکز بتن دارد. استفاده از پوشش‌های مرطوب، جلوگیری از تبخیر سریع و حفظ رطوبت سطح بتن، از جمله روش‌های توصیه شده برای کاهش تنش‌های حرارتی هستند.

در سازه های های حجیم، استفاده از روش های پیشرفته تر مانند عمل آوری با سیستم های خنک کننده داخلی<sup>۱</sup> (شکل ۲-۷) نیز در برخی پروژه ها به کار گرفته می شود تا اختلاف دما مرکز و سطح به حداقل برسد.

**کنترل کیفیت و مستندسازی اجرایی**

مطابق توصیه های آیین نامه بتن آمریکا، در بتن ریزی حجیم ثبت دقیق اطلاعات اجرایی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. این اطلاعات شامل دمای بتن، شرایط محیطی، زمان و توالی بتن ریزی و نتایج آزمایش های کنترل کیفیت می باشد. مستندسازی مناسب، امکان ارزیابی عملکرد سازه در دوره بهره برداری را نیز فراهم می کند.

در بسیاری از پروژه های های بزرگ، نصب ترموکوپل در نقاط مختلف سازه و ثبت پیوسته دما داخلی بتن، یکی از الزامات کنترل کیفیت محسوب می شود. این داده ها امکان تحلیل دقیق رفتار حرارتی و ارزیابی عملکرد تمهیدات اجرایی را فراهم می کند. (شکل ۲-۹)

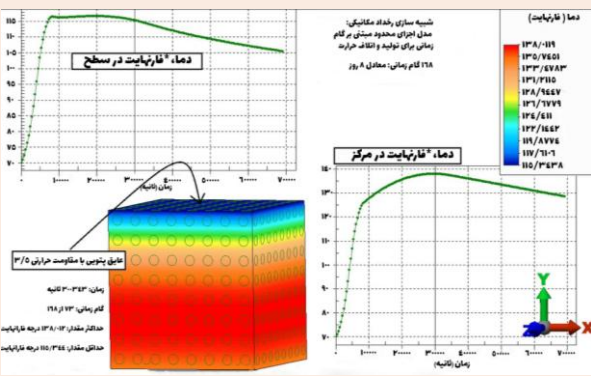


(شکل ۲-۷) شماتیک سیستم خنک سازی داخلی

**ترک های حرارتی و پیامدهای**

بر اساس مطالب کتاب بتن ویرایش دوم اثر سیدنی میدنس<sup>۲</sup> ترک های حرارتی زمانی ایجاد می شوند که تنش های کششی ناشی از اختلاف دما از مقاومت کششی بتن فراتر رود. این ترک ها اگرچه در بسیاری از موارد منجر به ناپایداری سازه ای نمی شوند، (شکل ۲-۸) اما در صورت عدم کنترل مناسب این ترک ها می توانند به کاهش مقاومت در برابر نفوذ یون ها مخرب و در نتیجه افت دوام سازه منجر شوند.

راهنمای (انجمن پژوهش و اطلاع رسانی صنعت ساخت و ساز بریتانیا) تأکید می کند که کنترل ترک های حرارتی نیازمند رویکردی جامع شامل کنترل دما، کاهش مهارشدگی و اجرای صحیح درزهای اجرایی است.



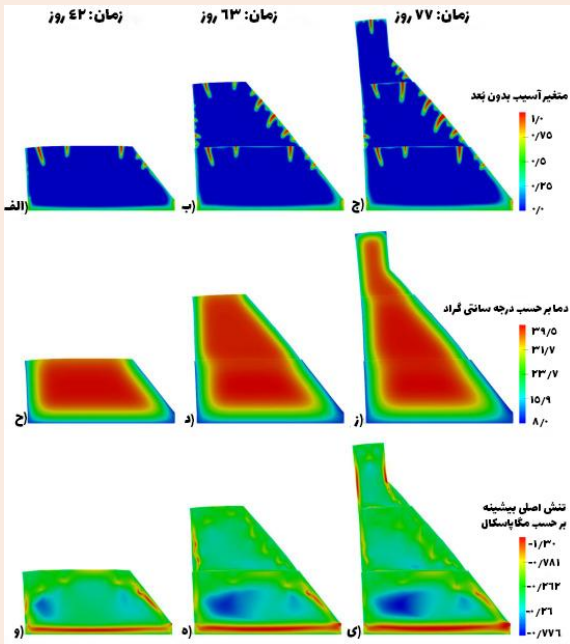
(شکل ۲-۹) شبیه سازی و تحلیل رفتار بتن

1- Embedded Cooling Pipes  
2- Concrete (Second Edition, 2003) by Sidney Mindess

## نتیجه گیری

بتن ریزی حجیم یکی از پیچیده ترین فرآیندهای اجرایی در سازه های بتنی است که موفقیت آن وابستگی مستقیم به مهندسی اجرایی سازه دارد. بهره گیری همزمان از آیین نامه بتن ایران و منابع معتبر بین المللی نظیر (آیین نامه بتن آمریکا) و (انجمن پژوهش و اطلاع رسانی صنعت ساخت و ساز بریتانیا)، چارچوبی علمی و اجرایی برای کنترل رفتار حرارتی بتن فراهم می آورد. رعایت این اصول، ضمن کاهش ریسک ترک خوردگی، موجب افزایش دوام، ایمنی و کیفیت سازه های عمرانی خواهد شد.

تجربه پروژه های بزرگ نشان می دهد که موفقیت در بتن ریزی حجیم بیش از هر چیز وابسته به هماهنگی میان طراحی، تحلیل حرارتی و اجرای دقیق است. به کارگیری رویکردی یکپارچه، ریسک های اجرایی را کاهش داده و کیفیت نهایی سازه را تضمین می کند. (شکل ۲-۱۰)



(شکل ۲-۱۰) تکامل آسیب، دما و تنش در سازه، طی گذر زمان





ژئوتکنیک، راه، ترابری  
و زیرساخت



### نویسندگان :

**محمد مهدی باغلی**  
دانشجوی کارشناسی عمران  
دانشکده شهید چمران کرمان



**امیر حسین آرموتن**  
دانشجوی کارشناسی عمران  
دانشکده شهید چمران کرمان

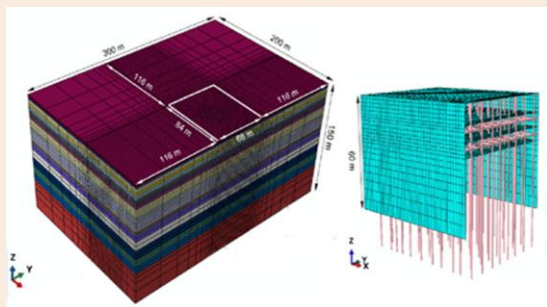


## بررسی گودبرداری به روش بالا-پایین<sup>۱</sup>

### مقدمه

نسبت به سیستم‌های پایین-بالا<sup>۲</sup> جابجایی‌های جانبی کمتر و کنترل نشست بهتر ارائه می‌دهد. این یافته‌ها از مطالعه تعداد زیادی مقاله مورد بررسی قرار گرفته و نتایج عددی، آن‌ها در قالب معیارهای چندگانه (نشست سطحی، جابجایی دیوار، جابجایی ستون) تحلیل شده‌اند.

**تحلیل عددی و مدل‌سازی سه‌بعدی :** تحلیل سه‌بعدی رفتار خاک و سازه با استفاده از نرم‌افزارهای مدل سازی پیشرفته<sup>۳</sup> نشان داده که ترتیب اجرای دال‌ها، توزیع فشار خاک و مرحله حفاری نقش مهمی در کل پاسخ سیستم دارند. اجرای مرحله‌ای دال‌ها باعث محدود شدن نواحی پلاستیک خاک و کاهش جابجایی‌های جانبی می‌شود. (شکل ۴-۱)



(شکل ۴-۱) شماتیک اجرا شده گودبرداری به روش بالا-پایین

گودبرداری‌های عمیق در محیط‌های شهری اغلب در مجاورت ساختمان‌های موجود، خطوط مترو و شریان‌های حیاتی انجام می‌شوند و کنترل تغییرشکل خاک و سازه‌های پیرامونی به یکی از معیارهای اصلی انتخاب روش ساخت تبدیل شده است.

در خاک‌های نرم شهری، جابجایی جانبی دیوار در سیستم‌های مهاربندی متعارف می‌تواند به حدود ۰/۳ تا ۰/۵ درصد عمق گود برسد، در حالی که در سیستم‌های بالا-پایین این مقدار معمولاً کمتر بوده و به حدود ۰/۲ تا ۰/۳ درصد عمق محدود می‌شود. علت اصلی این تفاوت آن است که در روش بالا-پایین، دال‌های طبقات زیرزمین به‌عنوان مهارهای افقی دائمی عمل کرده و از مراحل اولیه حفاری در سیستم باربر جانبی مشارکت می‌کنند. همین موضوع باعث شده است که این روش به‌ویژه در مراکز شهری شرق آسیا، اروپا و پروژه‌های مجاور مترو کاربرد گسترده‌ای پیدا کند.

### مروری بر بالا-پایین

**مقایسه عملکرد روش‌ها :** تحلیل‌های مرور سیستماتیک کنونی نشان می‌دهد که روش بالا-پایین با ایجاد یک سیستم باربر یکپارچه ناشی از مشارکت دال‌ها،

- 1- Top-Down
- 2- Bottom-Up
- 3- FEM-Finite Element Method

## اصول مهندسی و مراحل اجرای روش بالا-پایین

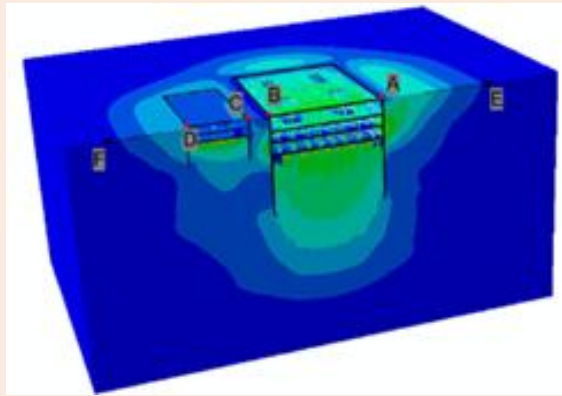
**نصب ستون‌ها و دال‌های اولیه:** پس از نصب دیوارهای دیافراگمی، ستون‌های باربر موقت یا دائمی در محل خود نصب می‌شوند. این ستون‌ها معمولاً از نوع مقاطع فولادی یا ستون‌های بتنی هستند که پیش از بتن ریزی دال در داخل قفسه‌های تعبیه شده قرار گرفته و نقش اصلی در انتقال بارهای قائم در مراحل اولیه را بر عهده دارند پس از نصب ستون‌ها، عملیات قالب بندی و آرماتور گذاری دال اولیه انجام می‌شود. در این دال، باز شو هایی برای خروج خاک در مراحل بعدی حفاری در نظر گرفته می‌شود. اتصال دال به دیوار دیافراگمی از طریق برش گیرها و المان‌های انتقال نیرو صورت می‌گیرد تا سختی جانبی کافی فراهم شود و سیستم بتواند از همان ابتدا در برابر فشار جانبی خاک مقاومت کند.

**حفاری مرحله‌ای و پایش:** روش بالا-پایین به صورت مرحله‌ای و حفاری از طریق باز شو های تعبیه شده در دال انجام می‌شود. در این فرآیند، خاک با استفاده از بیل مکانیکی کوچک یا تجهیزات مشابه برداشته می‌شود و توسط جرثقیل، نوار نقاله یا لودر های کوچک به سطح منتقل می‌شود. پس از اتمام خاک برداری هر تراز، دال جدید اجرا می‌شود. این چرخه شامل (حفاری، اجرا دال و انتقال به تراز پایین تر) تا رسیدن به کف گود تکرار می‌شود. در تمام مراحل، پایش مدام جابجایی دیوار، نشست سطح زمین و فشار آب منفذی ضروری است تا رفتار سیستم با پیش بینی‌های عددی مطابقت داشته باشد و از بروز تغییر شکل‌های غیرمجاز جلوگیری شود. (شکل ۴-۴)



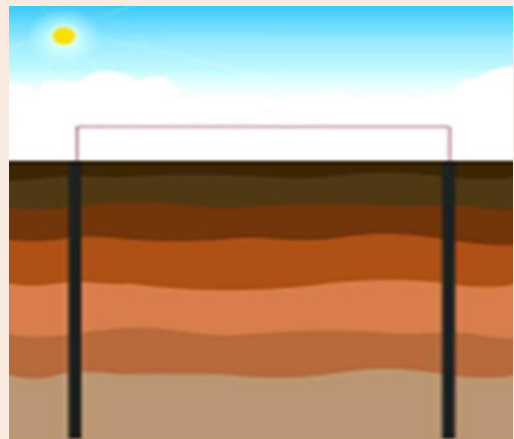
(شکل ۴-۴) اجرای خاکبرداری مرحله‌ای طبقات زیرین

**مطالعات اولیه و طراحی ژئوتکنیکی:** شناسایی دقیق خاک و سطح آب زیرزمینی و ساخت مدل عددی سه‌بعدی برای پیش‌بینی رفتار سیستم در طول مراحل اجرایی، پایه و اساس طراحی موفق گودبرداری بالا-پایین است. تحلیل مرحله‌ای و بررسی نشست‌ها و جابجایی‌ها در طراحی می‌تواند بهینه‌سازی پارامترهای مهندسی را ممکن سازد. (شکل ۴-۲)



(شکل ۴-۲) مدل سه بعدی جهت مطالعات اولیه

**اجرای دیوارهای نگهبان:** دیوارهای نگهبان معمولاً از نوع دیافراگمی بتن آرمه هستند که در خاک‌های نرم تا لایه‌های مقاوم زیرین امتداد می‌یابند. حفاری ترانشه‌ها با دوغاب بنتونیت انجام و سپس بتن‌ریزی با روش ترمی صورت می‌گیرد تا پیوستگی و یکپارچگی پانل‌ها حفظ شود. (شکل ۴-۳)



(شکل ۴-۳) شاتیک دیوارهای نگهبان از نوع دیافراگمی

سپس دال طبقه همکف اجرا شد و ساخت هسته بتنی و طبقات بالایی همزمان با حفاری تدریجی زیرزمین ادامه یافت. این شیوه باعث کنترل بهتر تغییر مکان خاک، کاهش نشست ساختمان‌های مجاور و افزایش ایمنی در محیط متراکم شهری شد. (شکل ۴-۶)



(شکل ۴-۶) اجرای دیوار دیافراگمی و شمع‌ها در برج شاردر

**اجرا فونداسیون و کف گود:** پس از رسیدن به پایین‌ترین تراز حفاری، عملیات خاکبرداری نهایی تا تراز فونداسیون انجام می‌شود. سپس بتن مگر اجرا شده و پس از آن آرماتور گذاری و بتن ریزی فونداسیون صورت می‌گیرد. در این مرحله، ستون‌هایی که در ابتدا به صورت موقت مهار شده بودند، از قفسه‌های نگهدارنده آزاد شده و اتصال نهایی آن‌ها به فونداسیون برقرار می‌شود. با تکمیل این مرحله، سیستم باربر زیرزمین به طور کامل شکل گرفته و امکان بهره‌برداری از طبقات زیر سطحی فراهم می‌شود.

**اجرا همزمان سازه روی زمین:** یکی از مزایای مهم روش بالا-پایین امکان اجرای همزمان سازه روی زمین با عملیات حفاری و ساخت زیر زمین است. پس از اجرای دال اول، عملیات ساخت طبقات بالا سطحی می‌تواند بدون انتظار برای اتمام کامل گودبرداری آغاز شود. این همپوشانی زمانی موجب کاهش قابل توجه مدت اجرا پروژه و افزایش بهره‌وری در برنامه‌ریزی ساخت می‌شود. (شکل ۴-۵)

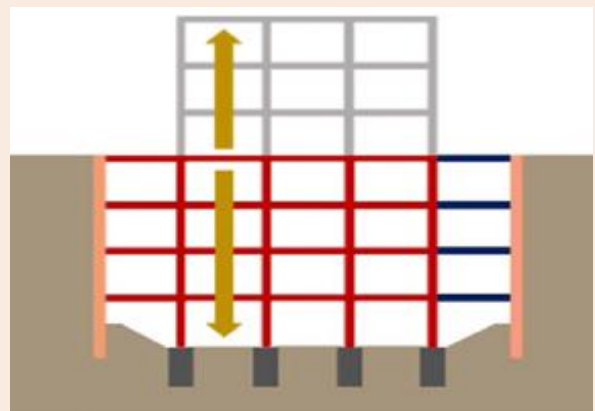
## مزایا و محدودیت‌ها

### مزایا:

- سیستم یکپارچه دیوار و دال باعث افزایش سختی و کاهش جابجایی‌ها می‌شود.
- کنترل بهتر نشست سطحی نسبت به روش پایین-بالا
- اجرای هم‌زمان سازه بالاسطحی و زیرسطحی می‌تواند زمان پروژه را کاهش دهد.

### محدودیت‌ها:

- طراحی و تحلیل نیازمند مدل‌سازی عددی دقیق است.
- پیچیدگی اجرا و نیاز به پایش میدانی مداوم.



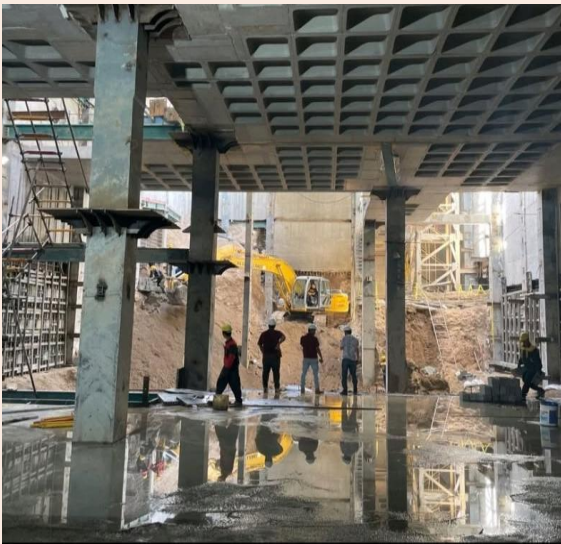
(شکل ۴-۵) شماتیک اجرای همزمان سازه به سمت بالا و پایین

## مطالعات موردی

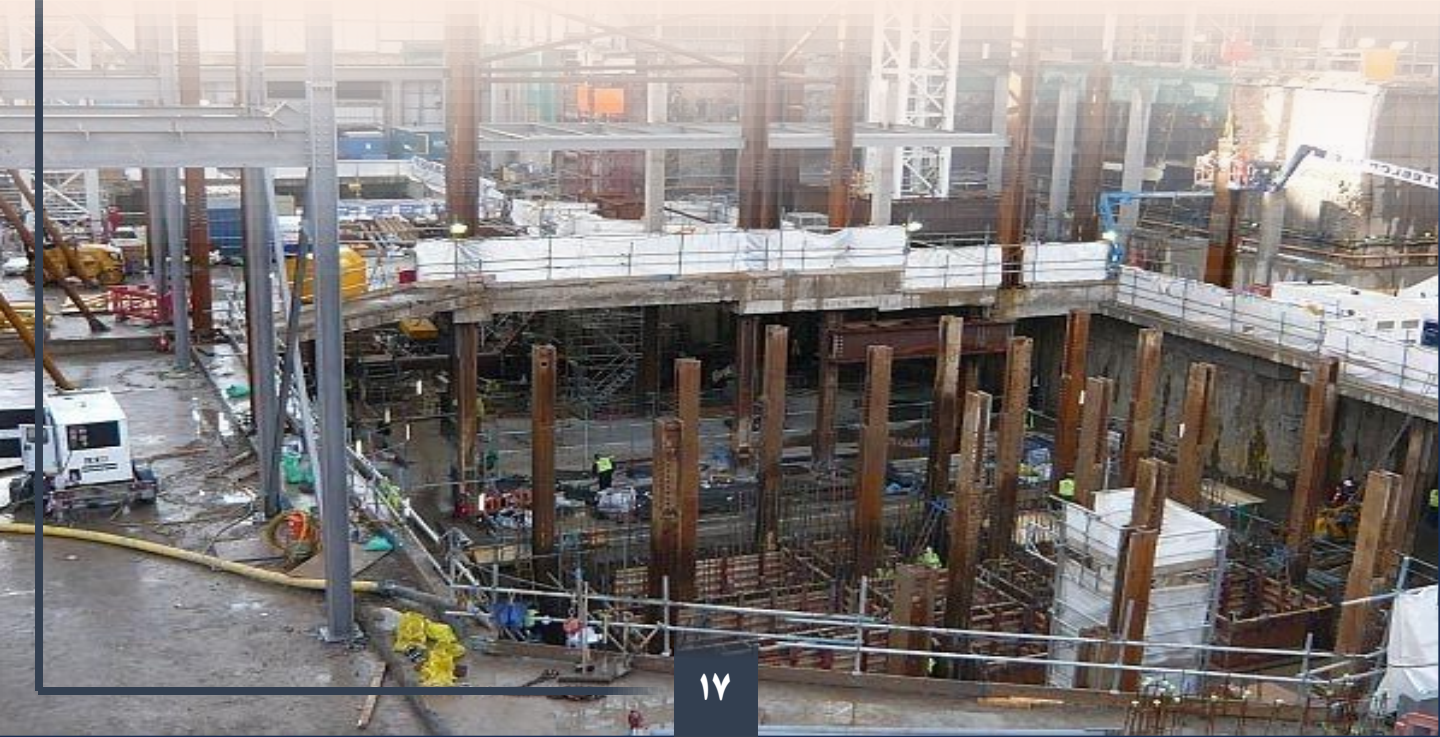
**پروژه برج شاردر<sup>۱</sup> انگلیس:** در برج شاردر لندن از روش تاپ‌دان برای ساخت همزمان سازه فوقانی و زیرزمینی استفاده شد. در این روش ابتدا دیوارهای دیافراگمی و شمع‌ها اجرا و ستون‌های فولادی اصلی<sup>۲</sup> در محل نهایی خود نصب شدند.


## نتیجه گیری

مطالعات معتبر بین‌المللی نشان می‌دهند که روش بالا-پایین در پروژه‌های عمیق شهری می‌تواند کنترل مناسبی بر نشست سطح زمین و جابجایی‌های جانبی دیوارها فراهم کند. تحلیل‌های عددی و پایش‌های میدانی، تطابق مطلوبی در رفتار سیستم نشان داده‌اند و به مهندسان امکان می‌دهند با اطمینان بیشتری آن را در پروژه‌های بزرگ پیاده‌سازی کنند. (شکل ۴-۷)



(شکل ۴-۷) مراحل اجرای گودبرداری به روش بالا و پایین





مرمت ، تعمیر و نگهداری

نویسنده :

مهدی رستمی راوری  
دانشجوی کارشناسی عمران  
دانشکده شهید چمران کرمان



## بررسی نحوه مقاوم سازی به روش ژاکت بتنی<sup>۱</sup>

### مقدمه

افزایش عمر مفید سازه‌ها و بهبود عملکرد آن‌ها در برابر بارهای ثقلی و جانبی، به‌ویژه زلزله، از مهم‌ترین چالش‌های مهندسی عمران در دهه‌های اخیر است. یکی از روش‌های رایج، قابل اعتماد و پرکاربرد در بهسازی و مقاوم‌سازی سازه‌های موجود، استفاده از روش ژاکت‌گذاری می‌باشد. در این روش با اضافه کردن یک پوشش تقویتی از جنس بتن، فولاد یا مصالح کامپوزیتی به دور اعضای سازه‌ای، ظرفیت باربری، سختی، شکل‌پذیری و ایمنی سازه به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. که در ادامه به مقاوم سازی به روش ژاکت بتنی می‌پردازیم.

### ژاکت بتنی

ژاکت بتنی یکی از متداول‌ترین روش‌های مقاوم‌سازی است که در آن یک لایه بتن مسلح جدید به دور عضو موجود اجرا می‌شود. این روش معمولاً شامل نصب آرماتورهای طولی و عرضی جدید و سپس بتن‌ریزی یا شاتکریت می‌باشد

### ویژگی‌ها و عملکردها :

- افزایش قابل توجه مقاومت فشاری، خمشی و برشی عضو
- بهبود شکل‌پذیری و رفتار لرزه‌ای ستون‌ها
- سازگاری مناسب با سازه‌های بتنی موجود

### محدودیت‌ها :

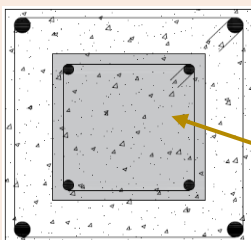
- افزایش وزن مرده سازه
- نیاز به فضای اجرایی نسبتاً زیاد
- زمان اجرای نسبتاً طولانی

### مفهوم و اجرای ژاکت بتنی

ژاکت بتنی به فرآیند افزودن یک پوشش بتن مسلح جدید به دور عضو بتنی موجود اطلاق می‌شود، به‌گونه‌ای که ژاکت و عضو اصلی به صورت یکپارچه عمل نمایند. این یکپارچگی از طریق کاشت میلگرد، ایجاد قفل و بست مکانیکی و تأمین پیوستگی مناسب بین بتن قدیم و جدید حاصل می‌شود. (شکل ۶-۱)

اصول اصلی عملکرد ژاکت بتنی عبارت‌اند از:

- افزایش سطح مقطع مؤثر عضو
- افزایش محصورشدگی بتن هسته
- بهبود توزیع تنش و کرنش
- جلوگیری از گسیختگی ترد و افزایش رفتار شکل‌پذیر



ستون موجود (ستون اصلی)

(شکل ۶-۱) مقطعی از ستون تقویت شده با روش ژاکت بتنی

## مبانی رفتاری و لرزه‌ای ژاکت بتنی

از دیدگاه لرزه‌ای، ژاکت بتنی نقش مهمی در بهبود عملکرد اعضای فشاری - خمشی مانند ستون‌ها ایفا می‌کند. افزایش محصورشدگی بتن باعث بالا رفتن مقاومت فشاری مؤثر و ظرفیت تغییرشکل پلاستیک می‌شود. همچنین، با افزایش مقاومت برشی، احتمال وقوع شکست برشی ترد که یکی از خطرناک‌ترین انواع شکست در زلزله است، به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد.

مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که ستون‌های ژاکت‌شده، ظرفیت جذب انرژی بیشتری داشته و منحنی هیستریزیس<sup>۱</sup> آن‌ها پایدارتر از ستون‌های تقویت‌نشده است. این ویژگی منجر به بهبود عملکرد کلی سازه در زلزله‌های متوسط و شدید می‌گردد.

### اجزای اصلی ژاکت بتنی

یک ژاکت بتنی معمولاً از اجزای زیر تشکیل می‌شود: **میلگردهای طولی**: برای افزایش مقاومت خمشی و فشاری

**میلگردهای عرضی (خاموت‌ها)**: برای تأمین محصورشدگی بتن و افزایش مقاومت برشی  
**بتن جدید یا شاتکریت**: که نقش اصلی را در افزایش سطح مقطع و سختی عضو دارد

**المان‌های اتصال**: شامل میلگردهای کاشته‌شده یا برش‌گیرها جهت انتقال نیرو بین بتن قدیم و جدید (شکل ۲-۶)

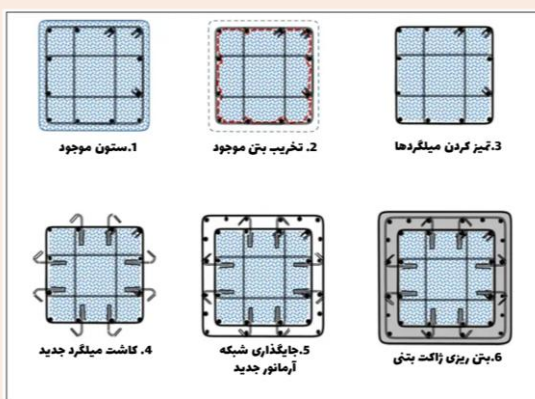
## مراحل طراحی و اجرای ژاکت بتنی

**ارزیابی**، **تحلیل سازه موجود و طراحی ژاکت بتنی**  
در این مرحله ظرفیت موجود عضو، نوع آسیب‌ها، میزان آرماتورگذاری و نیاز مقاوم‌سازی مشخص می‌شود. مطالعات بر روی سازه و عضو که مد نظر جهت اجرای ژاکت است طراحی می‌شود. و مراحل کار آغاز می‌گردد.

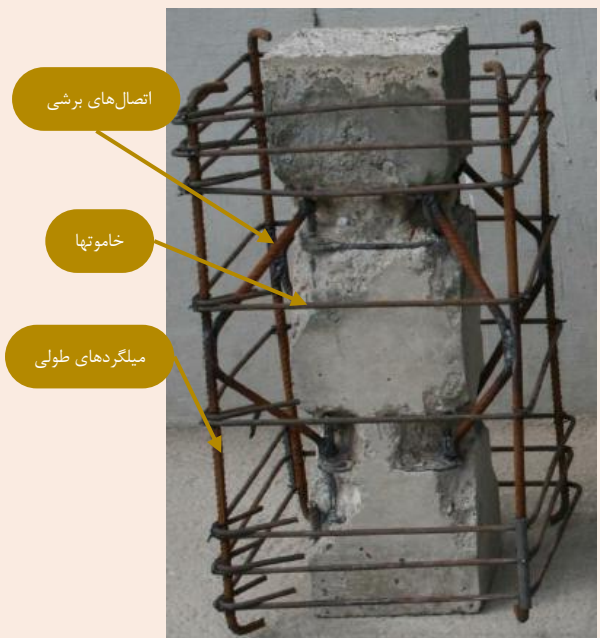
**آماده‌سازی سطح**: از اولین مراحل اجرا است که با انجام سوراخ کاری ها، تزریق چسب بتن و تخریب بتن قبلی و دستیابی به آرماتورهای قبل جهت اجرای شبکه آرماتور جدید و اتصال کامل آن به شبکه آرماتور موجود انجام میشود، همچنین در این مرحله به تخریب سطح بتن قبلی میپردازیم (مُرس کردن سطح بتن قبل) تا درگیری بتن جدید با بتن موجود به بهترین شکل صورت پذیرد.

**اجرای آرماتور و بتن‌ریزی**: پس از نصب میلگردهای جدید و المان‌های اتصال، بتن‌ریزی یا شاتکریت انجام شده و عمل‌آوری مناسب صورت می‌گیرد. البته در مواقعی که شرایط محیا باشد و طراحی طبق بتن ریزی صورت گرفته باشد با توجه به آیین نامه ها و نشریه ۵۲۴ میتوان از بتن ریزی هم استفاده نمود.

در (شکل ۳-۶) و (شکل ۴-۶)، شماتیک مراحل اجرای ژاکت بتنی برای ستون و تیر را میتوان به صورت خلاصه مشاهده کرد.



(شکل ۳-۶) مراحل اجرای ژاکت بتنی برای ستون



(شکل ۲-۶) نمونه ای از اجرای میلگرد های ژاکت بتنی در ابعاد کوچک

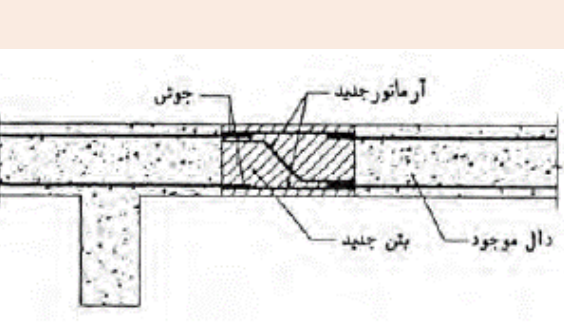
**افزودن شناژ به شالوده:** با افزایش ابعاد شالوده می توان سطح تماس بر پی را افزایش داد و از تنشهای اعمالی بر پی کاست که این اقدام منجر به افزایش ظرفیت باربری شالوده می شود. همچنین با افزایش ابعاد شالوده و به دنبال آن کاهش تنش موجود در پی، نشست های پی خاک نیز کاهش می یابد.

**یکپارچه سازی شالوده:** این نوع بهسازی معمولاً در مواردی مورد توجه قرار می گیرد که بادیوار یا دیوار برشی جدید بین دو ستون احداث شود. در این نوع بهسازی علاوه بر افزایش ظرفیت برشی و خمشی شالوده، مقاومت جانبی برای تحمل نیروهای جانبی وارد بر شالوده نیز افزایش می یابد.

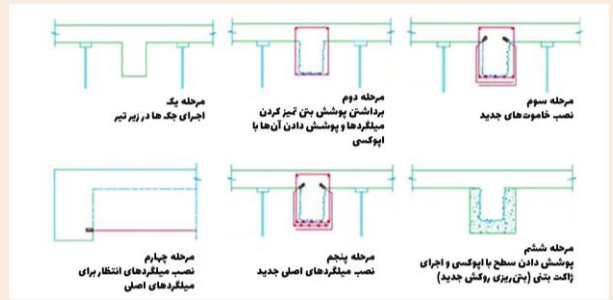
### راهکارهای بهسازی دال

**افزایش ضخامت دال:** در مواردی که مقاومت و سختی دال کم باشد، با افزایش ضخامت آن می توان این عیب را رفع نمود. بتن و میلگردهای جدید بر روی سطح و یا زیر دال موجود میتواند اجرا گردد. در روشی که افزایش ضخامت از قسمت فوقانی آن صورت می گیرد، مقاومت خمشی نیز افزایش می یابد، زیرا علاوه بر افزایش عمق مؤثر، آرماتورهای منفی نیز اضافه میگردند. (شکل ۶-۶)

در روش دیگر که افزایش ضخامت از قسمت زیرین دال می باشد، مقاومت خمشی به علت افزایش آرماتورهای کششی اضافه می گردد.



(شکل ۶-۶) جزئیات بهسازی دال از روش افزایش ضخامت دال

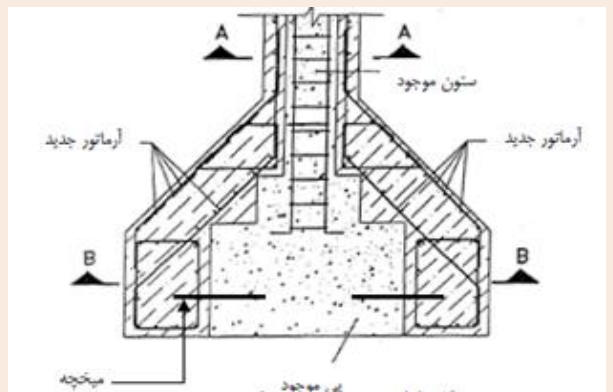


(شکل ۶-۴) مراحل اجرای ژاکت بتنی برای تیر

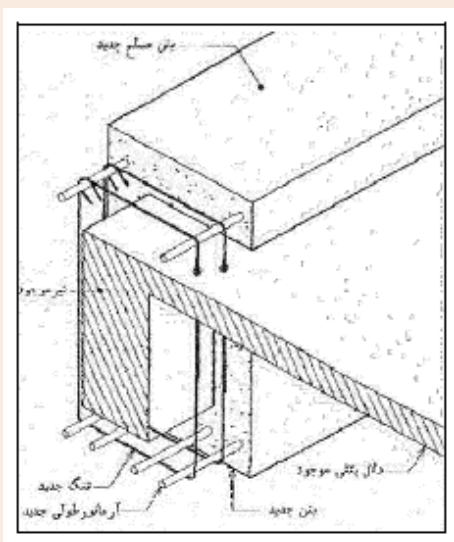
### کاربردهای ژاکت بتنی در بهسازی سازه ها

#### راهکارهای بهسازی شالوده:

**افزایش ابعاد شالوده:** با افزایش ابعاد شالوده می توان سطح تماس بر پی را افزایش داد و از تنشهای اعمالی بر پی کاست که این اقدام منجر به افزایش ظرفیت باربری شالوده می شود. همچنین با افزایش ابعاد شالوده و به دنبال آن کاهش تنش موجود در پی، نشست های پی خاک نیز کاهش می یابد. در شرایط مقاوم سازی شالوده و ستون مطابق شکل برای افزایش مقاومت شالوده موجود باید ابعاد قسمت زیرین شالوده را افزایش داد. در این روش فشار خاک اضافه شده باید به صورت یکنواخت به شالوده اعمال گردد. کمر بند محیطی شالوده باید بار قسمت های فوقانی سازه را به خاک زیر آن منتقل نماید. در این حالت باید به دنبال پیوستگی کامل بین روکش بتنی و بتن شالوده باشیم که این امر با تمیز و مضرس کردن سطح بتن قدیم و یا استفاده از اتصالات مکانیکی به صورت میخچه امکان پذیر است. (شکل ۶-۵)



(شکل ۶-۵) جزئیات بهسازی شالوده از روش افزایش ابعاد



(شکل ۶-۷) جزئیات بهسازی تیر از روش روکش بتنی

استفاده از روکش بتنی برای افزایش مقاومت تیرهای فولادی: با محصور نمودن تیر فلزی، سختی آن افزایش یافته که این امر موجب بالا رفتن سختی برشی و خمشی می گردد. در صورتی که تیر فلزی دچار خوردگی شدید شده باشد، استفاده از روکش بتنی به عنوان راه حلی مؤثر توصیه میگرد. تیر های فلزی پس از مقاوم سازی با روکش بتنی در برابر آتش سوزی نیز مقاومت خوبی دارند.

### راهکارهای بهسازی ستون:

استفاده از روکش بتنی برای افزایش مقاومت ستونهای بتنی: روکش بتنی شامل لایه ای از بتن، میلگردهای طولی و خاموت های بسته می باشد. روکش بتنی مقاومت خمشی و برشی ستون را افزایش می دهد و افزایش شکل پذیری ستون در این حالت کاملاً مشهود است.

روکش بتن آرمه در مواردی که میزان شدت آسیب های وارده به ستون زیاد باشد و یا ستون از ظرفیت کافی در برابر نیروهای جانبی برخوردار نباشد، بکار گرفته میشود. روکش بتنی بسته به شرایط می تواند دور تا دور ستون و یا در یک وجه آن اجرا شود.

مناسب بودن طرح روکش بتنی به پیوستگی آن با عضو بستگی دارد. اگر ضخامت روکش بتنی کم باشد، افزایش سختی در ستون مقاوم سازی شده محسوس نمی باشد. روکش بتنی باعث افزایش ابعاد ستون می گردد که علاوه بر مسائل معماری، وزن ساختمان را نیز افزایش میدهد.

مقاوم سازی اتصال دال به دیوار برشی: همان گونه که در قسمت های قبلی نیز بدان اشاره شد، آسیب های دال بیشتر در قسمت های نامنظم آن، مانند محل اتصال دال به دیوار برشی مشاهده می شوند. از سویی بدلیل اینکه دال ها باید به عنوان دیافراگم افقی با تمام المان های مقاوم جانبی نیز اتصال داشته باشند، لذا وجود اتصالی قوی بین دال و دیوار برشی ضروری است. بهسازی اتصال دال به دیوار را می توان به کمک میلگردهای اتصال (میلگرد ریشه) انجام داد.

یکی دیگر از روش های تقویت اتصال دال به دیوار برشی اضافه کردن تیرهای لبه ای و تقویت در نواحی مرزی می باشد. در این روش می توان قسمت مرزی دال و دیوار را تخریب و با کاشت آرماتور، تیرهای لبه ای ایجاد نمود. تیر لبه ای را می توان در قسمت فوقانی دال و یا تحتانی آن اجرا نمود.

### راهکارهای بهسازی تیر

استفاده از روکش بتنی برای افزایش مقاومت تیرهای بتنی: در تیرها می توان از روکش بتنی در سه و یا چهار وجه تیر برای بهسازی و افزایش مقاومت آن استفاده نمود. با این روش می توان ناحیه کششی و فشاری تیر را با روکشهای بتنی جدید تقویت کرد.

برای تکمیل مکانیسم انتقال نیرو بین مصالح قدیم و جدید، زبر نمودن سطح بتن قدیمی و جوش دادن میلگردهای اتصال با آرماتورهای جدید و قدیم ضروری می باشد. اجرای روکش بتنی در هر چهار وجه تیر موثرترین روش برای مقاوم سازی تیرهای بتنی می باشد. در این شیوه ضخامت بتنی که به وجه بالایی تیر افزوده می گردد باید در ضخامت سقف گم شود. اجرای تنگ ها نیز از طریق سوراخهایی که در فواصل نزدیک به هم در دال سقف ایجاد می شود امکان پذیر می باشد. (شکل ۶-۷)

اجرای روکش بتنی در سه وجه تیر برای افزایش ظرفیت خمشی و برشی تیر در برابر بارهای قائم انجام می شود، اما به دلیل آنکه در این حالت، افزایش ظرفیت باربری مقاطعی از تیر که در نزدیکی تکیه گاه ها قرار دارند امکان پذیر نیست، تیر را نمی توان در مقابل بارهای جانبی زلزله تقویت نمود. موفقیت این روش مستلزم مهار مناسب خاموت ها از ضلع های بالایی روکش است. به دلیل آنکه استفاده از قالب و ریختن بتن از بالای تیر امکان پذیر نیست تنها راه ممکن استفاده از بتن پاشی می باشد.

ستفاده از روکش بتنی برای افزایش مقاومت ستونهای فولادی: بکار می رود. با محصور نمودن ستون فولادی، سختی آن H و I این روش برای مقاوم سازی مقاطع فولادی باز<sup>2</sup> مانند مقاطع افزایش یافته که این امر موجب بالا رفتن سختی برشی نیز می گردد. برای بالا بردن سختی خمشی ستون، باید روکش بتنی ستون فولادی در طبقات مختلف پیوسته باشد.

در صورتی که ستون فولادی دچار خوردگی شدید شده باشد، استفاده از روکش بتنی به عنوان راه حلی موثر توصیه می گردد. این ستون ها پس از مقاوم سازی در برابر آتش سوزی نیز مقاومت خوبی خواهند داشت.

### نتیجه گیری

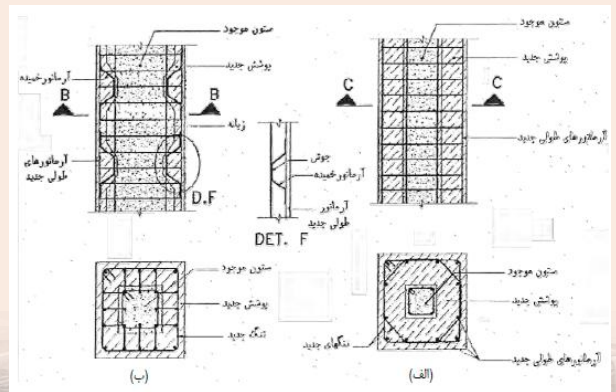
ژاکت بتنی یکی از مؤثرترین روش های مقاوم سازی سازه های بتنی محسوب می شود که با طراحی و اجرای صحیح، می تواند عملکرد لرزه ای اعضا و کل سازه را به طور قابل توجهی بهبود بخشد. این روش به دلیل سازگاری مصالح، رفتار سازه ای مناسب و سابقه موفق اجرایی، گزینه ای قابل اتکا برای بهسازی لرزه ای سازه های موجود به شمار می رود. انتخاب صحیح پارامترهای طراحی و رعایت الزامات اجرایی، شرط اصلی موفقیت این روش در پروژه های مقاوم سازی است.

گاهی عملکرد مرکب بتن قدیم و روکش صرفاً از طریق چسبندگی بین آنها (با توجه به زبر بودن سطح بتن قدیمی) تأمین می گردد. که می توان برای ایجاد اتصال قوی تر بین قفس قدیم و جدید از آرماتور امگا شکل که به میلگردهای قدیمی و جدید جوش شده اند، استفاده نمود. البته در شرایطی که ابعاد ستون مقاوم سازی شده بزرگ باشد و دورگیری تمام میلگردهای جدید به صورت حداقل یک در میان امکان پذیر نباشد، استفاده از تنگهای متصل کننده بمنظور جلوگیری از کمانش میلگردهای طولی، ضروری خواهد بود.

در صورتی که روکش بتنی تنها در قسمتی از ستون اجرا گردد، باید خاموتهای قدیم نمایان شده و خاموتهای جدید به آنها جوش شوند.

اگر بنا به دلایلی افزایش ظرفیت برشی بدون افزایش ظرفیت خمشی مد نظر باشد، پوشش بکار گرفته شده می تواند به سقف و تیرها متصل نباشد و اگر افزایش ظرفیت خمشی ستون نیز مد نظر است پوشش بکار گرفته شده باید از سقف عبور نماید. (شکل ۶-۸)

به هنگام استفاده از راهکار بهسازی ستون با روکش بتنی، اگر افزایش ظرفیت خمشی ستون مد نظر باشد، آرماتورهای اضافه شده طولی باید در فونداسیون مهار شده و به صورت پیوسته از داخل سقف ها نیز عبور نمایند. اجرای روکش بتنی بهتر است با قالب و بتن خود تراکم<sup>1</sup> اجرا گردد ولی اگر روکش بتنی ضخامت کمی داشته باشد، استفاده از روش بتن پاشی بهتر از بتن ریزی می باشد.



(شکل ۶-۸) جزئیات بهسازی ستون بتنی با استفاده از ژاکت بتنی

- 1- Self compacted concrete
- 2- Open Section



فناوری های نوین عمران  
و محیط زیست



### نویسندگان:

**مهدی رستمی راوری**  
دانشجوی کارشناسی عمران  
دانشکده شهید چمران کرمان



## روند تصفیه فاضلاب و تأثیرات عدم تصفیه فاضلاب بر محیط زیست

**محمد علی جهانشاهی**  
دانشجوی کارشناسی عمران  
دانشکده شهید چمران کرمان



### مقدمه

**فاضلاب صنعتی:** همان طور که از نام این گروه مشخص است، در بخش های صنعتی و کارخانجات، پالایشگاه ها و غیره تولید شده و مواد آلی و غیر آلی و شیمیایی به مقدار زیاد در آنها موجود می باشد.

**فاضلاب کشاورزی:** آب های خارج شده از زمین های کشاورزی و باغ ها پس از آبیاری می باشند که حاوی انواع کود و آفت کش هستند.

**فاضلاب سطحی:** مجموعه آب های ناشی از شستشوی سطوح، آب باران و غیره که بر روی خیابان ها جاری می شوند گفته میشود.

### اهمیت مدیریت فاضلاب

**جلوگیری از آلودگی محیط زیست:** فاضلاب که حاوی مواد آلی، شیمیایی و میکروارگانیسم های مضر است که در صورت دفع نامناسب، باعث آلودگی خاک و آب های سطحی و زیرزمینی و حتی هوا میشود.  
**حفظ بهداشت عمومی:** تصفیه نامناسب فاضلاب میتواند منجر به شیوع بیماری های عفونی شود.

ابتدا به یک تعریف کوتاهی از فاضلاب میپردازیم مجموعه آب های مصرف شده در محیط های مسکونی، تجاری، صنعتی، کشاورزی و غیره که حاوی مواد آلاینده بوده و دچار تغییر رنگ و بو و شاخص های کیفی میشوند اصطلاحاً پساب یا فاضلاب گفته میشود.

### انواع فاضلاب:

**فاضلاب بهداشتی یا انسانی:** به مجموعه پساب های تولید شده در محیط های مسکونی و اداری و تجاری که شامل دو بخش ۱. فاضلاب خاکستری: آب های مصرف شده در حمام، آشپزخانه و شستشوی ظروف و لباس و.. و ۲. فاضلاب سیاه: آب ناشی از سرویس های بهداشتی که حاوی مواد آلی و بیماری زا است، می باشد.

**فاضلاب بیمارستانی:** این گروه از فاضلاب ها حاوی حجم بسیار بالایی از مواد دارویی، خون و چربی جمع آوری شده از بخش های مختلف بیمارستان ها و واحدهای درمانی می باشند.

**حفظ منابع آب:** مدیریت صحیح فاضلاب میتواند منجر به بازیافت آب و در نتیجه کاهش مصرف منابع آب شیرین شود.

### تصفیه اولیه

هدف از تصفیه اولیه، جداسازی مواد جامد از فاضلاب ورودی و جدا کردن نخاله های بزرگ توسط غربال ها و یا خرد کردن آنها با تجهیزات خرد کننده است. جداسازی مواد جامد معدنی در کانال های دانه گیر و یا حوضچه های پیش ته نشینی انجام می شود. جداسازی تقریباً نیمی از جامدات معلق را حذف میکند. برخی مراحل آن شامل :

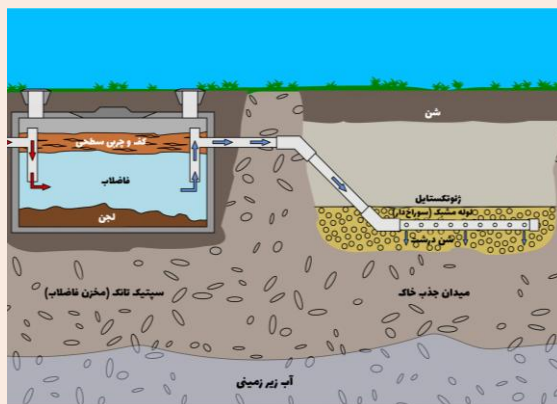
- آشغالگیر
- خرد کن
- کانال انتقال آب
- حوضچه پیش ته نشینی

به طور کلی روش های تصفیه فاضلاب به دو دسته عمده تقسیم می شوند:

- تصفیه فیزیکی: حذف ذرات معلق از طریق فیلترها و ته نشینی
- تصفیه شیمیایی و بیولوژیکی: تجزیه مواد آلی با استفاده از باکتری ها و افزودن مواد شیمیایی برای از بین بردن آلاینده های خاص

### سیستم های متداول تصفیه

**سپتیک تانک:** مناسب برای مناطق روستایی با دور از دسترس تصفیه خانه های مرکزی (شکل ۷-۱)



(شکل ۷-۱) شماتیک عملکرد و جایگذاری مخزن سپتیک و لوله خروجی آب آن و جذب توسط زمین

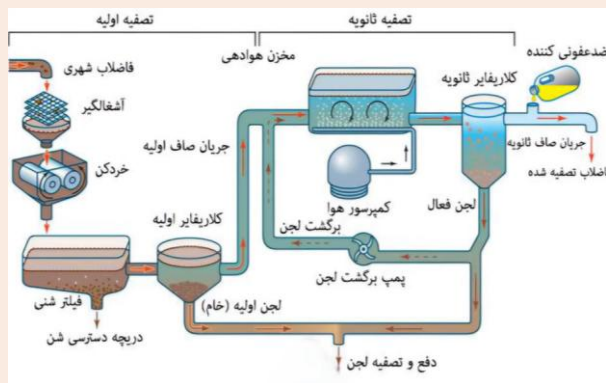
**تصفیه خانه های مرکزی:** برای مناطق شهری با جمعیت بالا (شکل ۷-۲)



(شکل ۷-۲) تصفیه خانه مرکزی

### تصفیه ثانویه (بیولوژیکی)

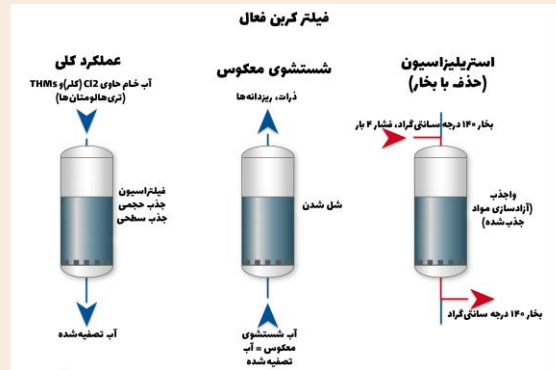
شامل تصفیه بیولوژیکی فاضلاب با استفاده از میکروارگانیسم ها می شود. که روش متداول آن ؛ روش کشت میکروبی معلق (راکتور لجن فعال) است و شامل: تانک هوادهی جهت اکسیژن رسانی به فاضلاب و تانک ته نشینی ثانویه یا زلال ساز که اجازه ته نشینی به لجن حاصل از توده سلولی داده می شود. (شکل ۷-۳)



(شکل ۷-۳) مراحل تصفیه اولیه و ثانویه



**جذب با کربن فعال:** استفاده از کربن فعال برای جذب آلاینده های شیمیایی مانند رنگ ها و مواد آلی پیچیده برای تصفیه پیشرفته آب (شکل ۷-۸)



(شکل ۷-۸) مراحل فیلتر آب با روش جذب با کربن فعال

### تأثیرات عدم تصفیه فاضلاب یا تصفیه نادرست آن بر خاک

تجمع فلزات سنگین، نمک ها و سایر آلاینده ها در خاک می تواند ساختار، حاصلخیزی و بهره وری آن را کاهش دهد و پاتوژنهای موجود در فاضلاب می توانند زمینهای کشاورزی را آلوده کنند آلاینده های موجود در فاضلاب می توانند توسط گیاهان جذب شوند و وارد زنجیره غذایی شوند و خطرات بهداشتی برای حیوانات و انسانهایی که این گیاهان را مصرف میکنند، ایجاد کنند.

### تأثیرات عدم تصفیه فاضلاب یا تصفیه نادرست آن بر هوا

فاضلاب به صورت غیر مستقیم میتواند باعث کاهش کیفیت و یا آلودگی هوا شود:

**مشکلات بویایی:** تجزیه مواد آلی در فاضلاب میتواند بوی نامطبوعی تولید کند که کیفیت زندگی جوامع مجاور را تحت تأثیر قرار دهد.

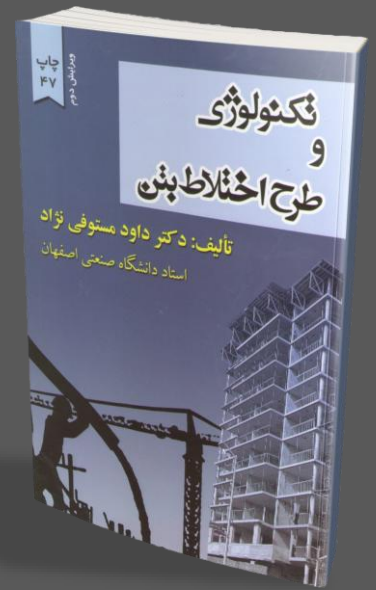
### تأثیرات عدم تصفیه فاضلاب یا تصفیه نادرست آن بر آب

**یوتریفیکاسیون:** حضور بیش از حد مواد مغذی، به ویژه نیتروژن و فسفر، منجر به رشد بیش از حد جلبک ها میشود که به نام شکوفایی جلبکی شناخته میشود. این شکوفه ها سطح اکسیژن در آب را کاهش میدهند که میتواند منجر به مرگ و میر گسترده ماهی ها و از دست رفتن تنوع زیستی شود.

**آلودگی پاتوژنها:** فاضلاب تصفیه نشده یا ناکافی میتواند پاتوژنهای مضر را وارد منابع آبی کنید و خطرات بهداشتی قابل توجهی برای انسان و حیات وحش ایجاد کند. بیماری هایی مانند وبا، اسهال خونی و هپاتیت می توانند از طریق آب آلوده گسترش یابند.

## معرفی کتاب

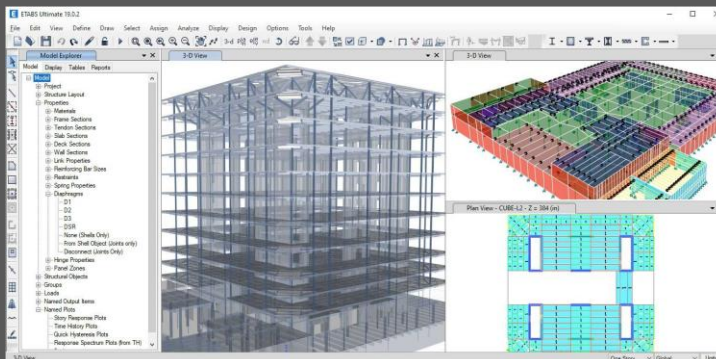
کتاب «تکنولوژی و طرح اختلاط بتن» اثر دکتر «داود مستوفی نژاد» یکی از منابع معتبر و شناخته شده در حوزه مهندسی عمران و فناوری بتن است که به صورت علمی و کاربردی به بررسی اجزای تشکیل دهنده بتن و خواص آن‌ها می‌پردازد. این اثر با رویکرد آموزشی، مفاهیم رفتار بتن تازه و سخت شده، اصول عمل‌آوری و روش‌های طرح اختلاط را به صورت منظم و نظام‌مند ارائه می‌کند. همچنین مباحث کتاب به گونه‌ای تنظیم شده که دانشجویان و مهندسان بتوانند ترکیب بهینه بتن را متناسب با شرایط اجرایی و الزامات فنی طراحی کنند. این کتاب توسط انتشارات ارکان دانش منتشر شده و به‌عنوان یکی از منابع دانشگاهی مهم در حوزه فناوری بتن شناخته می‌شود.



## معرفی نرم افزار

نرم‌افزار ETABS یکی از شناخته شده‌ترین نرم‌افزارهای تخصصی مهندسی عمران در حوزه تحلیل و طراحی سازه‌های ساختمانی است که برای مدل‌سازی، تحلیل و طراحی انواع سازه‌های بتن‌آرمه و فولادی به‌کار می‌رود. این نرم‌افزار با فراهم کردن یک محیط یکپارچه، امکان انجام مدل‌سازی، تحلیل سازه، طراحی و تهیه گزارش را در یک رابط کاربری واحد فراهم می‌کند.

ETABS قابلیت تحلیل سازه تحت بارهای مختلف از جمله بارهای ثقلی، زلزله و باد را دارد و با استفاده از روش‌های پیشرفته تحلیل عددی، رفتار واقعی سازه را ارزیابی می‌کند. همچنین این نرم‌افزار بر اساس آیین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی امکان طراحی اجزای مختلف ساختمان مانند تیر، ستون، دال و دیوار برشی را فراهم می‌سازد. از دیگر ویژگی‌های مهم این نرم‌افزار می‌توان به امکان ارتباط با نرم‌افزارهای BIM و CAD، تبادل داده با سایر نرم‌افزارهای مهندسی و وجود ابزارهای قدرتمند تحلیل خطی و غیرخطی اشاره کرد که موجب افزایش دقت و سرعت طراحی سازه می‌شود.



# منابع

۱-۲ آیین‌نامه بتن ایران (آبا).

۱-۴ نشریه شماره ۵۲۴ (۱۳۸۹)، راهنمای روش‌ها و شیوه‌های بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود و جزئیات اجرایی.

1-1 Skanska Group. Turning Torso – Construction Overview. Skanska, Sweden.

1-2 Structurae. Turning Torso (Malmö, Sweden). International Database for Civil and Structural Engineering.

1-3 ArchDaily. Turning Torso / Santiago Calatrava.

1-4 Santiago Calatrava Official Website. Turning Torso – Project Description.

1-5 Lund University. Wind Engineering Studies for Turning Torso.

1-6 Carolina Leguizamón. Turning Torso – Article Overview. Carolina Leguizamón Website.

2-1 ACI Committee 207. Guide to Mass Concrete (ACI 207.1R), American Concrete Institute.

2-2 ACI Committee 207. Effect of Restraint, Volume Change, and Reinforcement on Cracking of Mass Concrete (ACI 207.2R).

2-3 ACI Committee 305. Hot Weather Concreting (ACI 305R).

2-4 CIRIA C660. Early-age thermal crack control in concrete, UK.

2-5 Neville, A. M. Properties of Concrete, 5th Edition, 2011.

2-6 Mindess, S., Young, J. F., Darwin, D. Concrete, 2003.

2-7 Couto, D., Helene, P., Almeida, L. C. Temperature Monitoring in Large Volume Spread Footing Foundations: Case Study “Parque da Cidade” – São Paulo. IBRACON Structures and Materials Journal, Vol. 9, No. 6, 2016.

3-1 Comparative review on vertical deformation in deep excavations: Insights from BU and TD methods — Physics and Chemistry of the Earth (2025).

3-2 The Deformation Analysis of a Deep Frame Top-Down Excavation in Downtown Shanghai Based on the 3D FEM — Advances in Civil Engineering (2021).

3-3 Study on Deformation Law of Deep Foundation Pit with the Top-Down Method and Its Influence on Adjacent Subway Tunnel — Advances in Civil Engineering (2020).

3-4 Deep excavation design cases (wall displacement comparison) — ISSMGE Bulletin 2015: Top-Down vs Bottom-Up wall displacement data.

3-5 Top-Down construction explanation and sequence — VIVA-Tech International Journal.

4-1 FEMA 547 (2006), Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

4-2 ACI 369R-11, Guide for Seismic Rehabilitation of Existing Concrete Frame Buildings.

4-3 Achillopoulou, D. V., Pardalakis, T. A., & Karabinis, A. I. (2013). Investigation of force transfer mechanisms in retrofitted RC columns with RC jackets containing welded bars subjected to axial compression. COMPDYN 2013, 4th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering.

5-1 Metcalf & Eddy (2014). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. McGraw-Hill.

5-2 World Health Organization (WHO). (2006). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater.

## منابع

---

5-3 U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2004). Primer for Municipal Wastewater Treatment Systems.

5-4 Vymazal, J. (2010). Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water*, 2(3), 530–549.




5-5 Bacteriophages in water pollution control: Advantages and limitations. *Front. Environ. Sci. Eng.* 2021, 15(5). Mengzhi Ji, Zichen Liu, Kaili Sun, Zhongfang Li, Xiangyu Fan, Qiang Li.





از تمامی دانشجویان صمیمانه دعوت می‌گردد تا با ارائه مطالب علمی در حوزه عمران و همچنین در بخش‌های فنی و گرافیکی نشریه ما را در ارتقاء هرچه بهتر محتوا و ظاهر آن یاری رسانند. همچنین از اساتید محترم نیز تقاضا می‌شود با حضور ارزشمند، مشارکت و بازبینی در مطالب و محتوای نشریه بر غنای آن بیفزایند.

از تمامی اساتید، دانشجویان و مسئولین محترم که در تهیه، تدوین و انتشار این نشریه یاری دادند؛ کمال تشکر را داریم.

## راه‌های ارتباطی:

   @anjoman\_azhand\_omran

 azhandscienceassociation@gmail.com

 kerman.tvu.ac.ir

