دانشگاه تربیت مدرس
معاونت فرهنگی اجتماعی

پلار
PALAR

شماره مجوز ۳۲۶۸۷/۱۹۳
سالنامه علمی تخصصی
انجمن علمی- دانشجویی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس
سال سوم . شماره سوم/فروردین۹۸
Third year No.3 March2019

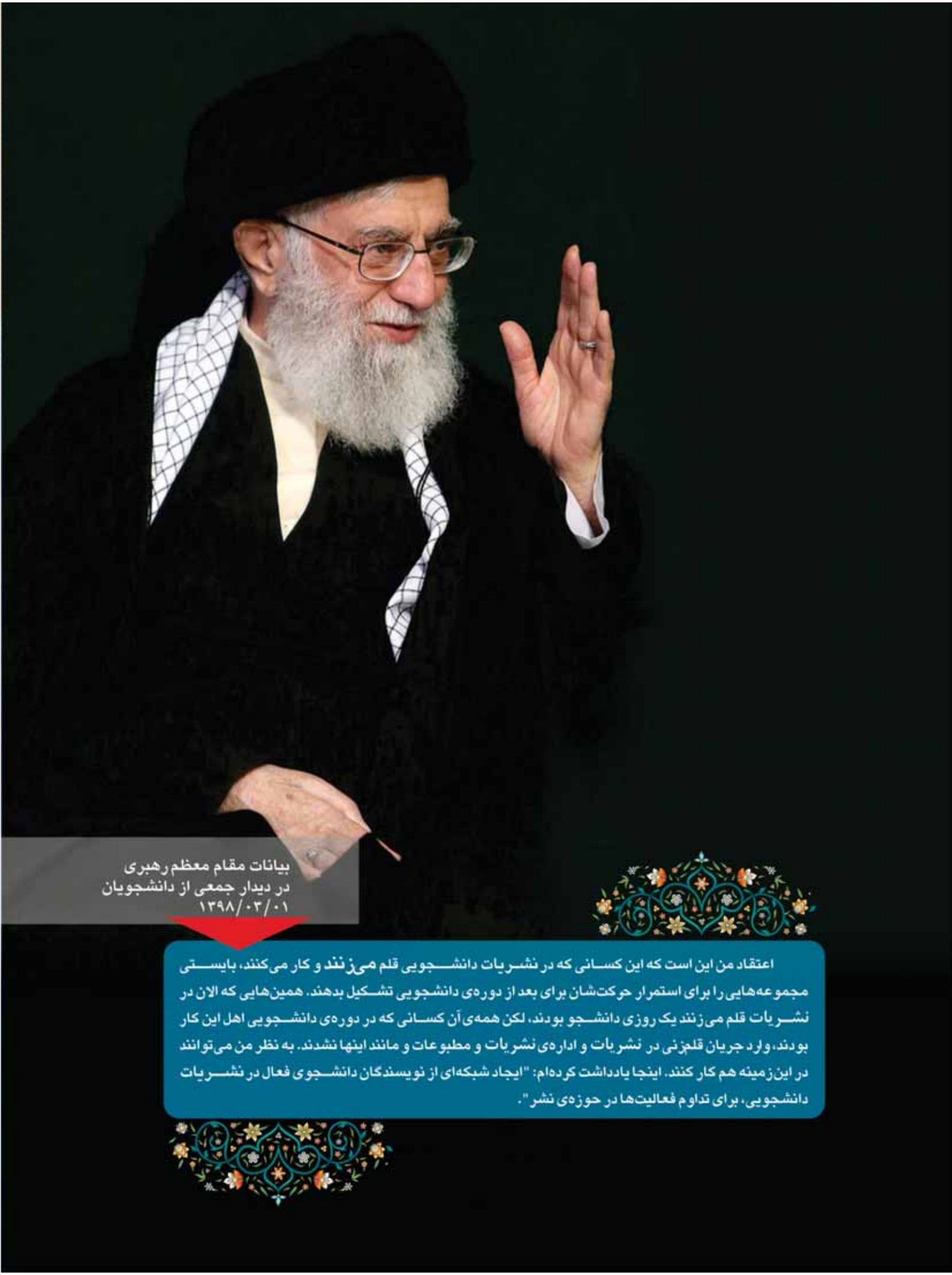
بهتر بشناسیم:

- سقف کوبیاکس
- دال بتن آرمه
- تیر هم‌بند

۶۰

مصاحبه‌ای جذاب و خواندنی با پروفسور فرزاد نعیم

- نانو کامپوزیت هاو کاربردآنها در تصفیه
- معرفی گروه سازه و زلزله دانشگاه تربیت مدرس
- منطق فازی و کاربردهای آن در برنامه‌ریزی حمل و نقل
- به کارگیری مواد تثبیت‌کننده جهت تثبیت خاک در پروژه‌های راهسازی
- بررسی امکان استفاده از بتن گوگردی در شبکه انتقال فاضلاب



بیانات مقام معظم رهبری
در دیدار جمعی از دانشجویان
۱۳۹۸/۰۳/۰۱

اعتقاد من این است که این کسانی که در نشریات دانشجویی قلم می‌زنند و کار می‌کنند، بایستی مجموعه‌هایی را برای استمرار حرکت‌شان برای بعد از دوره‌ی دانشجویی تشکیل بدهند. همین‌هایی که الان در نشریات قلم می‌زنند یک روزی دانشجو بودند، لکن همه‌ی آن کسانی که در دوره‌ی دانشجویی اهل این کار بودند، وارد جریان قلم‌زنی در نشریات و اداره‌ی نشریات و مطبوعات و مانند اینها نشدند. به نظر من می‌توانند در این زمینه هم کار کنند. اینجا یادداشت کرده‌ام: "ایجاد شبکه‌ای از نویسندگان دانشجوی فعال در نشریات دانشجویی، برای تداوم فعالیت‌ها در حوزه‌ی نشر".

بسم الله الرحمن الرحیم

پالار PALAR

سالنامه علمی تخصصی

انجمن علمی- دانشجویی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس

سال سوم، شماره سوم، فروردین ۹۸
Third year No.3 March2019

سالنامه علمی تخصصی پالار

سال سوم / شماره سوم/ فروردین۹۸

تیراژ ۴۰۰ نسخه / قیمت ۱۰۰۰۰ تومان

انجمن علمی- دانشجویی عمران و محیط زیست

دانشگاه تربیت مدرس

بخش اول: عمومی

یادداشت مدیر مسئول ۲
سخن سردبیر ۳
معرفی گروه سازه و زلزله دانشگاه تربیت مدرس ۴

بخش دوم: گزارشات

دال بتن آرمه ۸
کاربرد فناوری‌های برتر دنیا در صنعت ساختمان ۱۲
تیر هم‌بند ۱۸
سقف‌های کوبیاکس ۲۳

بخش سوم: مقالات

منطق فازی و کاربردهای آن در برنامه‌ریزی حمل و نقل ۲۶
ارزیابی عملکرد و هزینه‌های لرزه‌ای سازه‌ها با استفاده از روش زمان‌دوام ۳۰
بررسی امکان استفاده از بتن‌گوگردی در شبکه انتقال فاضلاب ۳۵
نانوکامپوزیت‌ها و کاربرد آنها در تصفیه ۴۱
به کارگیری مواد تثبیت‌کننده جهت تثبیت خاک در پروژه‌های راهسازی ۴۶

بخش چهارم: مصاحبه و...

مصاحبه‌ای جذاب و خواندنی با پروفسور فرزاد نعیم ۵۶
چگونه اقدام به نوشتن پایان‌نامه یا مقاله کنیم؟ ۶۲
معرفی کتاب ۶۳

کلیه علاقه مندان به فعالیت در زمینه مطبوعات تخصصی حوزه عمران، صاحب‌نظران، محققین و اساتید محترم می توانند با ارسال مطالب و پیشنهادات خود به آدرس این نشریه و یا ارسال از طریق فکس و ایمیل، نسبت به طرح مطالب خود در هیات تحریریه نشریه پالار اقدام نمایند.

آدرس : تهران، بزرگراه جلال آل احمد، پل نصر، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، بلوک۶، طبقه دوم، دفتر انجمن علمی-دانشجویی عمران و محیط زیست
صندوق پستی: ۳۹۷-۱۴۱۱۵

تلفن: ۸۲۸۸۴۹۱۴
دورنگار: ۸۲۸۸۴۹۱۵
شماره تماس : ۰۹۳۵۲۹۸۱۵۱۱

Email: civil.eng@modares.ac.ir
Website: civil.modares.ac.ir
کانال ارتباطی : @TMU_CivilEngineering

این نشریه دارای مجوز شماره ۱۹۳/۳۲۶۸۷ در تاریخ ۱۳۹۵/۱۰/۲۲ از معاونت فرهنگی و اجتماعی دانشگاه تربیت مدرس است.

صاحب امتیاز

انجمن علمی- دانشجویی عمران و محیط زیست
دانشگاه تربیت مدرس (معاونت فرهنگی و اجتماعی)

مدیر مسئول

محمد یزدانی(دکتری سازه)

سردبیر

علی داودی (دکتری زلزله)

هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا)

محمد اسماعیلی آزادگله (دکتری ژئوتکنیک)
محمد افرازی (کارشناسی ارشد ژئوتکنیک)
پریسا الیاسی (دکتری سازه)
سعید امانی (کارشناسی ارشد راه و ترابری)
آرین ایران‌پور (کارشناسی ارشد سازه های دریایی)
مسعود بابایی (کارشناسی ارشد سازه)
میلاد پرگلی (کارشناسی ارشد محیط زیست)
شبنم پرویزی (کارشناسی ارشد سازه)
نوید جعفریان (دکتری سازه)
علی حقانی بابی (دکتری زلزله)
پوریا حیدری چراتی (دکتری سازه)
علی داودی (دکتری زلزله)
قربانعلی دزواره (دکتری محیط زیست)
آرش رسا ایزدی (دکتری برنامه ریزی حمل و نقل)
پرستو زارعی (کارشناسی ارشد سازه)
مجید علیزاده (کارشناسی ارشد سازه)
امیررضا مهدوی (کارشناسی ارشد برنامه ریزی حمل و نقل)
محمد یزدانی (دکتری سازه)

اساتید همکار این شماره (به ترتیب حروف الفبا)

دکتر همایون استکانچی
دکتر امیر کاووسی
دکتر داوود مستوفی‌نژاد
دکتر امیررضا ممدوحی
دکتر فریدون وفایی
دکتر ذبیح الله یوسفی

ویراستار: عباس حسن پور

طراح و صفحه آرا: شمال مصطفی نژاد

بسمه تعالی

یادداشت مدیر مسئول:

انجمن علمی دانشجویی دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس از آغاز تاسیس خود، در زمینه برگزاری کلاس‌های آموزشی، کارگاه‌های علمی تخصصی، نشست‌های تخصصی، انتشار نشریه و ... فعالیت نموده است. اعضای این انجمن در سال تحصیلی ۹۵-۱۳۹۴ با تعداد ۵ نفر عضو فعال و به دبیری خانم پانیذ عطاریان، در سال تحصیلی ۹۶-۱۳۹۵ با تعداد ۵ نفر عضو فعال و به دبیری آقای محمد افرازی و در سال‌های تحصیلی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ به دبیری آقای محمد یزدانی و به ترتیب با ۷ و ۹ عضو فعال، در کنار فعالیت‌های درسی خود، فعالیت‌های علمی و فرهنگی دانشکده را نیز دنبال نمودند. برای اولین بار، نشریه (سالنامه) علمی دانشجویی انجمن با نام "**پالار**[1]"، مجوز فعالیت خود را با شماره مجوز ۳۲۶۸۷/د۱۹۳ از کارگروه ناظر بر نشریات دانشگاه در سال ۱۳۹۵ به صاحب امتیازی انجمن علمی، مدیر مسئولی محمد یزدانی و سردبیری محمد افرازی اخذ نمود. حاصل سه سال فعالیت این نشریه، به کارگیری بالغ بر ۳۶ عضو هیئت تحریریه و ۱۲ عضو هیئت علمی از ۷ دانشگاه معتبر کشور، بهره‌مندی از تجربیات و تخصص ویراستار فنی و صفحه‌آرا و همچنین اخذ نزدیک به ۴۰ مقاله، گزارش و مصاحبه بوده است.

اکنون که در حال خواندن شماره سه نشریه "پالار" هستید، مفتخرم که اعلام کنم، به همت خانواده بزرگ "پالار"، این نشریه در دو سال پیاپی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در جشنواره ملی حرکت توانسته حائز رتبه "**شایسته تقدیر**" در بخش نشریات این جشنواره گردد. لازم به ذکر است که جشنواره ملی حرکت، بزرگترین رویداد علمی و فرهنگی در سطح کشور است که هر ساله به منظور شناسایی دستاوردهای انجمن‌های علمی دانشجویی کل کشور برگزار می‌گردد. خداوند را شاکرم که توانستیم به چنین جایگاه رفیعی در سطح نشریات دانشجویی دانشگاه تربیت مدرس و همچنین در سطح ملی دست پیدا کنیم. این افتخار را مدیون همکارانمان در نشریه بوده و از تلاش‌های بی‌دریغ این عزیزان در اعتلای نام "پالار" کمال تشکر را دارم.

با وجود سختی‌هایی که همواره بر سر راه فعالان این حوزه وجود داشته، همراهی شما عزیزان و تلاش برای رسیدن به قله‌های موفقیت تنها دلگرمی ما و "پالار" بوده است. از این رو دست تمامی مخاطبان "پالار" را به گرمی می‌فشارم و از آنها دعوت می‌کنم تا هوشیارانه این رسانه را در مسیر اصلی خود هدایت کنند و از صاحبان اندیشه و قلم دعوت می‌کنم که در پیمودن این راه ما را یاری نمایند. در این راه از خداوند متعال قدرت پذیرش، صبر در نومیدی، مناعت بدون غرور و گستاخی به دور از خامی را مسئلت دارم.

و من الله التوفیق
محمد یزدانی
بهار ۹۸

۱-پالار (Palar) واژه‌ای فارسی است و در منابع و مبرات مکتوب به معانی متعددی از جمله فرخت، ستون بزرگ، ستون، شمع، دیرک، تیرک، تیر، باربر و ... به کار رفته است.

سخن سردبیر

بسمه تعالی

پیش از هر سخنی، خرسندیم که "پالار" در دو شماره آغازین خود توانسته است با یک برنامه‌ریزی مدون و توجه به موضوعات روز و مورد نیاز خواننده، نظر مثبت و رضایت‌بخش مخاطبان خود را جلب نماید و خداوند منان را سپاسگزاریم که با نظر اهالی فن و قلم و بازخورد درخشان شما خوبان، هر دو شماره منتشر شده به عنوان نشریه برتر دانشجویی کشور انتخاب شد. در ادامه این مسیر موفق و در جهت برداشتن گامی در جهت ارتقای ساختاری و علمی پالار، تلاش شده است تا در سومین شماره این نشریه، با کمک و یاری جمعی از دانشجویان، فارغ التحصیلان و نیز اساتید رشته مهندسی عمران در حوزه‌های مختلف، مطالبی متنوع و فراخور نیازهای روز را گرد هم آورده و بدین وسیله رضایت و حمایت هرچه بیشتر شما مخاطبان گرامی را به دست آوریم.

در دنیای امروزی دانشگاه‌ها را می‌توان پیشران فعالیت‌های علمی، اجتماعی، سیاسی و اقتصادی در یک جامعه دانست و نشریات دانشجویی به عنوان ویترینی از افکار و ایده‌های دانشجویی در دانشگاه ها، مجالی مناسب به جهت ارتباط دانشجویان با عرصه‌های علمی و عملی در سطح کلان کشور به حساب می‌آیند. دست به قلم شدن دانشجویان، ارتقای سطح علمی آنها، شناسایی فرصت‌های شغلی و بهبود مهارت‌ها را می‌توان تنها به عنوان بخش کوچکی از دستاوردهای نشریات دانشجویی برشمرد. در این میان، نشریات علمی دانشجویی با تشویق و تحریک دانشجویان و دانشگاهیان علاقه‌مند و ایجاد حس مشارکت و مسئولیت پذیری در آن‌ها از یک سو و نیز بیان مسائل پایه و تخصصی، ارتقای دانش جمعی و باروری عرصه تفکر از سویی دیگر، نقش به سزایی در بهبود و ارتقای تعالیم فردی و اجتماعی ایفا می‌نمایند.

امروزه آنچه که در جامعه با آن مواجه هستیم، خیل عظیمی از اهالی فن و استعدادهایی است که شناخته نشده و مجالی جهت ارائه داشته‌های خود نیافته‌اند. رسالت ما در پالار، شناسایی این استعدادها در حوزه‌رشته مهندسی عمران و فراهم آوردن بستری جهت ارائه آن چه که می‌تواند در صورت بهای بیشتر، موجبات شکل‌گیری پایه‌های گسترش مرزهای دانش در شاخه‌های متعدد این حوزه را فراهم کند. آنچه از نظر می‌گذرانید، منتخبی است از گزارش‌ها، مقالات و مطالب جذاب و متنوعی که در شاخه‌های متفاوت مهندسی عمران، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته‌اند و با در نظر گرفتن پارامترهایی نظیر به روز و مفید بودن موضوع، نو بودن ایده، ورود به بازار کار ، چشم انداز آینده و معرفی خلأهای علمی موجود جهت تحقیق و پژوهش بیشتر گلچین شده‌اند.

تلاش من و همکارانم در پالار در جهت ایجاد فرصتی است تا صاحب نظران، دانش پژوهان و فرهیختگان حوزه مهندسی عمران بتوانند به واسطه آن به بیان نظرات، دیدگاه‌ها و تحقیقات علمی خود پرداخته و آن‌ها را به جهت بهره‌مندی، نقد و نظر مخاطبین، در اختیار علاقمندان قرار دهند. از این رو پالار به منظور کشف استعدادها و تشویق دانشجویان جهت ارائه نقشی پررنگ‌تر در حوزه‌های علمی و عملی، از تمامی مخاطبان محترم خود دعوت به عمل می‌آورد تا با ارائه نظرات، پیشنهادات و نقدهای منصفانه خود، ما را در جهت رفع کمبودها و کاستی‌ها و ارتقای محتوا در شماره‌های بعد یاری رسانند.

در پایان لازم می‌دانم تشکر ویژه‌ای داشته‌باشم از تمامی دانشجویان، اساتید و عزیزانی که بدون کمک و یاری آن‌ها، تهیه و تدوین این نشریه امکان پذیر نبوده‌است و همچنین خسته نباشید عرض می‌کنم خدمت جناب آقای مهندس محمد یزدانی که در مقام مدیر مسئول نشریه، با تلاش‌های بی‌وقفه خود از آغاز کار تاکنون، نقش به سزایی در ارتقا و موفقیت این نشریه ایفا نموده‌اند.

علی داودی / بهار ۹۸

دانشگاه تربیت مدرس

معرفی گروه سازه و زلزله دانشگاه تربیت مدرس

دانشگاه تربیت مدرس یکی از دانشگاه‌های دولتی ایران و تنها مرکز تحصیلات تکمیلی جامع دولتی کشور می‌باشد. این دانشگاه در سال ۱۳۶۰ در شهر تهران، با عنوان مدرسه تربیت مدرس و با هدف تربیت کادر هیئت علمی دانشگاه‌ها، به عنوان تنها دانشگاه تخصصی تحصیلات تکمیلی ایران تاسیس گردید و در سال ۱۳۶۱ اقدام به پذیرش دانشجو در برخی از رشته‌ها نمود. در حال حاضر دانشجویان این دانشگاه در ۱۶۹ رشته کارشناسی ارشد و ۱۲۹ رشته دکتری، در قالب ۱۶ دانشکده مشغول به تحصیل و فعالیت علمی می‌باشند. از جمله دانشکده‌های ممتاز در عرصه‌های علمی و عملی این دانشگاه، در عمر نزدیک به ۴۰ ساله خود، می‌توان به دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست اشاره نمود که فعالیت خود را با هدف تربیت اعضای هیئت علمی و متخصصان مطلع و آگاه در زمینه مهندسی عمران، از سال ۱۳۶۱ آغاز نموده‌است. ارائه خدمات علمی و پژوهشی در دوره تحصیلات تکمیلی با هدف تولید علم و رفع نیازهای کشور، از برنامه‌های مهم دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست بوده و این دانشکده سهم به سزایی در تقویت روحیه اعتماد به نفس و قطع وابستگی علمی و ایجاد زمینه‌های استقلال علمی داشته است. از پتانسیل‌های این دانشکده می‌توان به ایجاد ۹ گروه تخصصی در زمینه‌های مختلف مهندسی عمران و محیط‌زیست، پژوهشکده آب، مرکز تحقیقات و روسازی، مرکز کامپیوتر، کتابخانه، ۶ آزمایشگاه، مجله علمی پژوهشی، ده‌ها کتاب تألیفی و ترجمه‌ای و صدها مقاله علمی پژوهشی بین‌المللی اشاره نمود. در این شماره قصد داریم تا به منظور آشنایی بیشتر علاقه‌مندان و دانشجویان با فعالیت‌های این دانشکده، به صورت اجمالی به معرفی گروه‌های تخصصی مهندسی سازه و زلزله این دانشکده، اساتید فعال در این گروه‌ها و حوزه تحقیقاتی آنها و امکانات آزمایشگاهی موجود بپردازیم.

گروه سازه

گروه مهندسی سازه دانشگاه تربیت مدرس، از بدو تأسیس در سال ۱۳۶۴ به عنوان یکی از قدیمی‌ترین گروه‌های آموزشی دانشگاه، فعالیت خود را آغاز نمود و تاکنون توانسته تعداد قابل توجهی فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد و دکتری تحویل جوامع دانشگاهی و مهندسی کشور دهد. عمده زمینه‌های تحقیقاتی این گروه عبارتند از: بررسی رفتار سیستم‌های سازه‌ای، مقاوم‌سازی سازه‌ها، مدل‌سازی ریز ساختار و بررسی مدل‌های رفتاری مواد سازه‌ای. گروه مهندسی سازه در اکثر فعالیت‌های اثرگذار در توسعه فعالیت‌های دانش‌بنیان کشور، نقش به سزایی را ایفا کرده که از آن جمله می‌توان به مشارکت فعال آن در تهیه و تدوین استانداردها، ضوابط، مقررات ملی ساختمان و دستورالعمل‌های تخصصی ذی‌ربط و سایر فعالیت‌های مشابه اشاره نمود. این گروه در حال حاضر با در اختیار داشتن اساتید مجرب با رتبه‌های استادی، دانشیاری و استادیاری تمام وقت و نیز دارا بودن آزمایشگاه‌های مجهز در سطح تحصیلات تکمیلی، آموزش و هدایت دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری را عهده‌دار است. به طورکلی یکی از ارکان اصلی هر دانشکده که وجه تمایز آن با سایر دانشکده‌ها است و بخش قابل توجهی از اعتبار آن را به خود اختصاص می‌دهد، اساتید آن دانشکده و فعالیت‌های علمی و عملی آنها می‌باشد. از اینرو در ادامه، نگاهی گذرا به اساتید این گروه و حوزه‌های تحقیقاتی آنها خواهیم داشت.

❖ علی‌اکبر آقاکوچک

• سوابق تحصیلی

کارشناسی مهندسی عمران از دانشگاه صنعتی شریف

کارشناسی ارشد طراحی سازه‌های فولادی از دانشگاه امپریال‌کالج انگلستان

دکتری سازه‌های دریایی از دانشگاه لندن انگلستان

• علایق پژوهشی

سازه‌های فولادی مقاوم در برابر زلزله

استفاده از ابزارهای مستهلک کننده انرژی در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها

❖ عباسعلی تسنیمی

• سوابق تحصیلی

کارشناسی مهندسی عمران از دانشگاه بنگلور هندوستان

کارشناسی ارشد سازه از دانشگاه برادفورد انگلستان

دکتری سازه از دانشگاه برادفورد انگلستان

• علایق پژوهشی

رفتار غیرخطی-لرزه‌ای سازه‌های بتن مسلح

رفتار اعضای سازه‌ای بتن مسلح تحت اثر نیروهای ناشی از زلزله

ارزیابی، تحلیل و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود

کنترل ترک‌خوردگی و بازسازی سازه‌های بتن مسلح

مدل‌سازی و تحلیل غیرخطی سازه‌ها

استفاده از مصالح نوین در توسعه ساختمان‌های سبک

رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های مصالح بنایی (آجری)

❖ حامد خضرزاده

• سوابق تحصیلی

کارشناسی سازه از دانشگاه صنعتی شریف

کارشناسی ارشد سازه از دانشگاه صنعتی شریف

دکتری سازه از دانشگاه صنعتی شریف

• علایق پژوهشی

مدل‌های رفتاری مواد ناهمگن

مکانیک خرابی در جامدات

مکانیک شکست

دینامیک شکست

روش‌های همگن‌سازی مواد ناهمگن با استفاده از میکرومکانیک

تحلیل و طراحی سازه‌های کامپوزیتی

❖ فرهاد دانشجو

• سوابق تحصیلی

کارشناسی مهندسی عمران از دانشگاه کوبین‌مری انگلستان

کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاع‌رسانی مهندسی از دانشگاه ساوت‌بانک انگلستان

دکتری مهندسی عمران از دانشگاه وستمینستر انگلستان

• علایق پژوهشی

ارزیابی رفتار استاتیکی و دینامیکی خطی و غیرخطی سازه‌ها و اجزای آنها در برابر بارهای دینامیکی

شناسایی سیستم، پایش سلامت و تشخیص خسارت در سازه‌ها و اجزای آنها از طریق بررسی مشخصه‌ها و رفتار دینامیکی و استاتیکی و مقاوم‌سازی آنها

تحلیل، طراحی و مقاوم‌سازی و بهسازی سازه‌ها در برابر زلزله و دیگر بارهای دینامیکی بر اساس عملکرد

تحلیل، طراحی و ارزیابی عملکرد میراگرهای با میرایی فعال، نیمه‌فعال و غیرفعال در سازه‌ها

❖ شریف شاه‌بیک

• سوابق تحصیلی

کارشناسی مهندسی عمران از دانشگاه صنعتی شریف

کارشناسی ارشد سازه از دانشگاه صنعتی شریف

دکتری سازه از دانشگاه صنعتی شریف

• علایق پژوهشی

مدل‌سازی ساختاری مواد شبه‌ترد بر پایه تئوری خمیری-خسارت

ریزمدل‌سازی و مواد ناهمگن

روش المان‌های منفصل

مواد سلولی پایه فلزی با ساختار منظم و نامنظم

مدل‌سازی گسیختگی نرم در فلزات تحت بارگذاری تک‌جهته و چرخه‌ای

روش‌های تحلیلی در مکانیک شکست

مبانی ریاضی در تئوری ارتجاعی

مکانیک برخورد

❖ حمید محرمی

• سوابق تحصیلی

کارشناسی راه و ساختمان از دانشگاه پلی‌تکنیک ایران

کارشناسی ارشد سازه از دانشگاه صنعتی شریف

دکتری راه و ساختمان از دانشگاه واترلو کانادا

• علایق پژوهشی

بهینه‌سازی سازه

تحلیل غیرخطی با برنامه‌ریزی ریاضی

کنترل سازه

روش‌های عددی در مهندسی

بهینه‌سازی فراکاوشی همانند الگوریتم ژنتیک

شبکه‌های عصبی

اندرکنش خاک و سازه

لوله‌های مدفون

شریان‌های حیاتی

مقاوم‌سازی ساختمان‌ها

سازه‌های صنعتی و شریان‌های حیاتی

مقاوم‌سازی ساختمان‌های بنایی

مدیریت بحران

❖ ابوالفضل عربزاده

• سوابق تحصیلی

کارشناسی راه و ساختمان از دانشگاه انگلستان

کارشناسی ارشد سازه از انگلستان

دکتری سازه از دانشگاه انگلستان

• علایق پژوهشی

به طور خلاصه فعالیت‌های دکتر عربزاده در سال‌های اخیر معطوف به دیوار برشی فولادی ویژه و دیوار مرکب می‌باشد.

گروه مهندسی زلزله

گروه مهندسی زلزله در سال ۱۳۷۵ تأسیس گردیده است. رسالت اصلی این گروه، حرکت در راستای به حداقل رساندن خسارات و تلفات ناشی از زلزله در کشور لرزه‌خیز ایران است. از مهمترین اهداف کوتاه‌مدت گروه، تربیت افرادی است که دارای توانایی مناسب برای تحلیل و طراحی سازه‌ها در مقابل بارهای ناشی از زلزله هستند. این افراد می‌توانند در امور مربوط به مقاوم‌سازی ساختمان‌ها، تأسیسات آبی، انواع سازه‌های خاکی و سایر ابنیه فنی در برابر زلزله، اظهار نظر نمایند. از مهمترین اهداف دراز مدت گروه، شناخت و درک عمیق‌تر پدیده‌ی زلزله به عنوان بارگذاری ورودی به ابنیه فنی و نیز مباحث مربوط به مدیریت بحران ناشی از وقوع یک زلزله زیان‌بار است. گروه مهندسی زلزله با درک اهمیت توسعه و ارتقای دانش مهندسی عمران و تربیت نیروهای متعهد و متخصص در این زمینه، از بدو تأسیس، ضمن حفظ و توسعه ارتباط مؤثر با صنعت، تولید و گسترش تولیدات علمی در زمینه زلزله شناسی مهندسی، مهندسی زلزله، رفتارشناسی مصالح و المان‌های سازه‌ای و نیز توسعه مقررات و دستورالعمل‌های اجرایی را در اولویت تحقیقاتی خود قرار داده است. چند نمونه از پروژه‌های مزبور عبارتند از: طرح مدیریت مقاوم‌سازی مدارس کشور، طرح مقاوم‌سازی ساختمان ۱۹ طبقه‌ی شاهد تهران، تهیه‌دستورالعمل مقاوم‌سازی ساختمان‌های بنایی (نشریه‌ی ۳۷۶)، تهیه‌طرح کاهش خطرپذیری شهر تهران و بررسی آزمایشگاهی روش‌های مختلف مقاوم‌سازی سقف‌های طاق ضربی. در ادامه مروری خواهیم داشت بر اساتید این گروه و حوزه‌های تحقیقاتی آنها.

❖ حمزه شکیب

• سوابق تحصیلی

کارشناسی مهندسی عمران از دانشگاه هندوستان

کارشناسی ارشد مهندسی عمران از دانشگاه هندوستان

دکتری سازه از دانشگاه تکنولوژی دهلی هندوستان

• علایق پژوهشی

دینامیک سازه‌ها

مهندسی زلزله

❖ مسعود سلطانی‌محمدی

• سوابق تحصیلی

کارشناسی مهندسی عمران از دانشگاه تهران

کارشناسی ارشد زلزله از دانشگاه تهران

دکتری سازه از دانشگاه توکیو ژاپن

• علایق پژوهشی

توسعه روش‌های عددی در تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای و مقاوم سازی سازه های بتن مسلح و مصالح بنایی

رفتار غیرخطی و ارزیابی خرابی سازه های بتن مسلح و سازه های آجری

ارزیابی غیرتعینی و احتمالاتی سازه ها

اندرکنش خاک و سازه

قوانین و مدل های رفتاری غیرخطی بتن مسلح و غیرمسلح

رفتار اعضای بتن مسلح از پیش آسیب دیده تحت اثر زلزله

ارزیابی، تحلیل و طراحی بر اساس دوام

❖ ناصر خاجی

• سوابق تحصیلی

کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی از دانشگاه تربیت مدرس

دکتری لرزه‌شناسی از دانشگاه توکیو ژاپن

• علایق پژوهشی

زلزله‌شناسی مهندسی و مهندسی زلزله

روش‌های عددی در مکانیک محاسباتی

پایش و سلامت سنجی سازه‌ها، ردیابی خسارت در سازه‌ها

اندرکنش دینامیک آب-سازه-خاک

ریاضیات کاربردی

آزمایشگاه سازه و زلزله

فضایی به وسعت ۵۵۰ مترمربع و ارتفاع ۹ متر به این آزمایشگاه تعلق می‌گیرد و کف آن به عمق ۲ متر بتن‌ریزی شده است و به اصطلاح آن را کف قوی می‌نامند. در مواقع تست نمونه، از جمله بارگذاری، هیچ لرزه‌ای نمونه‌ها را تحریک نمی‌کند که این مشخصه را می‌توان از ویژگی‌های این کف قوی تلقی نمود. حداکثر بارگذاری امکان‌پذیر در محوطه اصلی آزمایشگاه تا سقف ۳۰۰ تن می‌باشد.

آزمایشگاه سازه و زلزله به چهار بخش مختلف تقسیم می‌شود:

• بخش اول، محوطه اصلی می‌باشد که در آن، جک‌ها و Reaction Frameها به

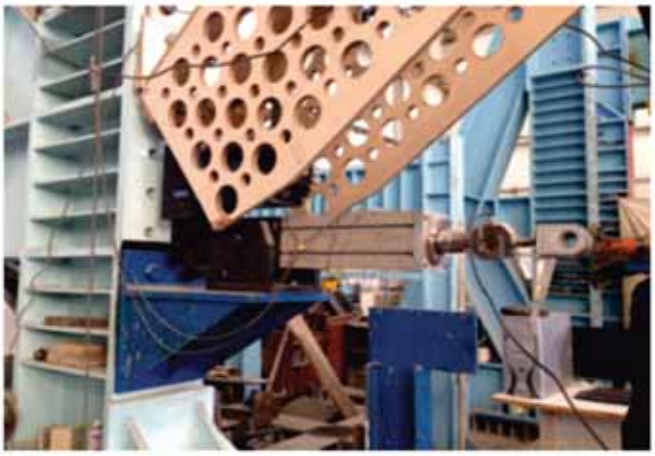
منظور بارگذاری بر روی دیوار برشی، ستون‌های بتنی و فولادی و نمونه‌های دارای حجم و ابعاد بزرگتر از ابعاد استاندارد و نیز دستگاه هایی از جمله Load cellها به جهت سنجش مقدار نیرویی جک ها، قرار گرفته‌اند.

شکل ۱- Reaction frame و Setupهای انجام آزمایش میراگر

- بخش دوم، محوطه اتاق تست نمونه‌های استاندارد که شامل دستگاه‌هایی از جمله UTM، دستگاه بتن‌شکن و تجهیزات تست‌های غیرمخرب می‌باشد.
- بخش سوم، محوطه آماده‌سازی تست‌های بتنی که در این محوطه نمونه‌های بتنی در قالب‌های استاندارد ساخته و آماده انجام آزمایش می‌شوند.
- بخش چهارم شامل اتاق بخار و حوضچه است که جهت به عمل آوردن بتن می‌باشد.

تجهیزات کلی آزمایشگاه شامل جک‌های استاتیکی و دینامیکی، دیتالاگرهای استاتیکی و دینامیکی، پمپ هیدرولیکی به منظور بارگذاری هیدرولیکی و سنسورهای جابجایی (LVDT) می‌باشد. جک‌های استاتیکی از ۵ تن تا ۳۰۰ تن، با فرکانس ۱ هرتز (یک ردیف دیتا در ثانیه) و جک‌های دینامیکی، از ۲ تن تا ۱۰۰ تن با فرکانس ۱۰ الی ۱۲ هرتز موجود است. دستگاه‌های دیتالاگر استاتیکی و دینامیکی که جز تجهیزات خیلی خاص آزمایشگاه محسوب می‌شوند از شرکت TML ژاپن تهیه شده‌اند. دیتالاگرهای استاتیکی تا ۳۲ کانال را پشتیبانی می‌کنند و به منظور ذخیره‌کردن اطلاعاتی از جمله نیرو، جابجایی، حرارت و مقاومت الکتریکی استفاده می‌شوند و معمولا در آزمایشگاه اطلاعات نیرو و جابجایی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شکل۲- دستگاه Data Logger استاتیکی



شکل۳- دستگاه جک بارگذاری ۲ تن

حداکثر طول نمونه‌ای که آزمایش بر روی آن امکان‌پذیر است، ارتفاع ۶ متر می‌باشد. به منظور تست میراگر، Setupهایی در مجموعه قرار گرفته‌است که امکان آزمایش بر روی این میراگرها بدون نیاز به قاب فولادی صورت گیرد. دستگاه UTM برای تست‌های کششی و فشاری استفاده می‌شود و ظرفیتی معادل ۱۰۰ تن را داراست. تست‌های فشاری معمولا برای تست بر روی بتن، به منظور دستیابی به نمودارهای تنش-کرنش و یا نمودار نیرو-جابجایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته تست برزیلی به منظور آزمایش بر روی کشش بتن نیز انجام می‌شود و معمولا آزمایش‌های کششی بر روی نمونه‌های فولادی از جمله میلگردها، ورقه‌ای فولادی و یا برای جداسازی میلگرد از بتن استفاده می‌شود.

شکل۴- دستگاه UTM ۱۰۰ تنی

در شکل ۵ دستگاه تست بتن با ظرفیت ۲۰۰ تن نمایش داده شده‌است که صرفا مخصوص تست فشاری بتن می‌باشد و اطلاعاتی از جمله مقاومت نهایی و تنش را در اختیار محقق قرار می‌دهد.

شکل۵- دستگاه تست بتن ۲۰۰ تنی

دال بتن آرمه

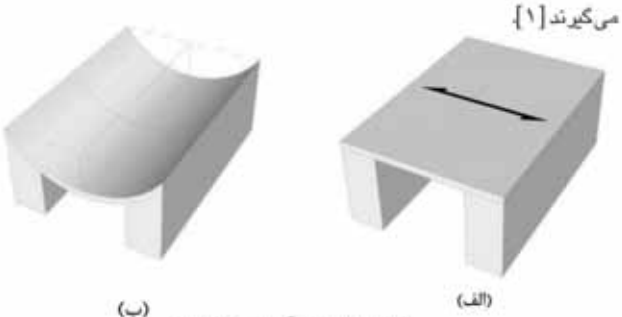
Shear Strengthening Methods of RC Two-Way Slabs

مقدمه

دال به عضو سازه‌ای با ضخامت کم (به طور معمول با نسبت ضخامت به عرض کمتر از ۰/۱) اطلاق می‌شود که بارهای وارد بر آن با عملکرد خمشی به تکیه‌گاه‌ها منتقل می‌شوند. دال‌های بتن آرمه به عنوان عناصر سازه‌ای بسیار متداول برای پوشش کف یا بام تلقی می‌گردند؛ بنابراین، دال‌ها در پوشش کف یا بام ساختمان‌ها با انواع کاربری و همچنین عرشه‌ی پل‌ها به طور گسترده استفاده می‌شوند [۱].

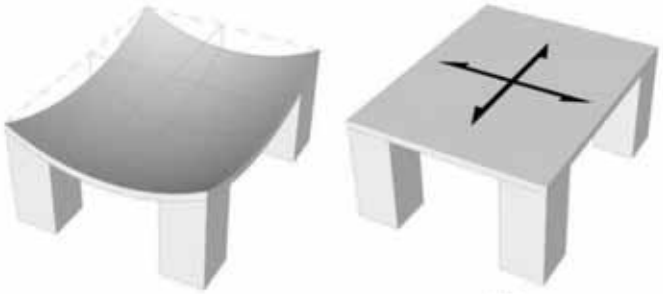
انواع دال بتن آرمه

دال‌های بتن‌آرمه با توجه به وضعیت تکیه‌گاهها و نسبت ابعاد دال در دو طرف، به طور عمده به دو صورت دال یک‌طرفه[1] و دال دوطرفه[2] تقسیم‌بندی می‌شوند. در صورتی که دال فقط در یک راستا تکیه‌گاه داشته باشد و یا سختی تکیه‌گاه‌ها در یک راستا نسبت به سختی تکیه‌گاه‌ها در راستای متعامد به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر باشد، گفته می‌شود که عملکرد دال به صورت یک‌طرفه است (شکل ۱- الف). در دال یک طرفه، عملکرد دال به صورت یک تیر دوسر ساده است که با خم شدن در یک راستا، بارهای وارده را به تکیه گاه‌ها منتقل می‌کند (شکل ۱- ب). در واقع دال یک‌طرفه از نظر سازه‌ای مانند یک تیر عریض است که با عملکرد در یک جهت و با تحمل لنگرهای خمشی، بار را به تکیه‌گاه‌های دو طرف خود منتقل می‌کند. به این‌ترتیب، میلگردهای خمشی فقط در یک جهت قرار می‌گیرند، و در جهت عمود بر آنها، فقط از حداقل میلگردهای افت و حرارت استفاده می‌گردد. حال اگر دال دارای تکیه‌گاه‌هایی با سختی قابل مقایسه در هر دو راستای متعامد باشد و حداکثر نسبت دهانه‌ها ۲ باشد، عملکرد دال به صورت دوطرفه خواهد بود (شکل ۲- الف)؛ و اگر نسبت مذکور بیشتر از ۲ باشد، عملکرد دال تا حد زیادی به صورت یک‌طرفه می‌باشد. در دال‌دوطرفه، تکیه‌گاه در هر دو راستای متعامد وجود دارد، بنابراین دال دوطرفه در هر دو راستا خم می‌شود و بارهای وارده را به تکیه‌گاه‌ها انتقال می‌دهد (شکل ۲- ب). در واقع دال دوطرفه با عملکرد خمشی در دو جهت متعامد و با تحمل لنگرهای خمشی قابل مقایسه در دو جهت، بارهای متعامد بر دال را به تکیه‌گاه‌های خود منتقل می‌کند. ازاینرو، هر یک از تکیه‌گاه‌ها بخشی از بارهای وارده را تحمل می‌کنند و در نتیجه، میلگردهای خمشی در هر دو جهت متعامد قرار می‌گیرند [۱].



(الف) (ب)

شکل ۱ دال بتن‌آرمه‌ی یک‌طرفه؛
الف) نحوه‌ی انتقال بار؛ ب) تغییرشکل دال بعد از اعمال بار [۱]



(الف) (ب)

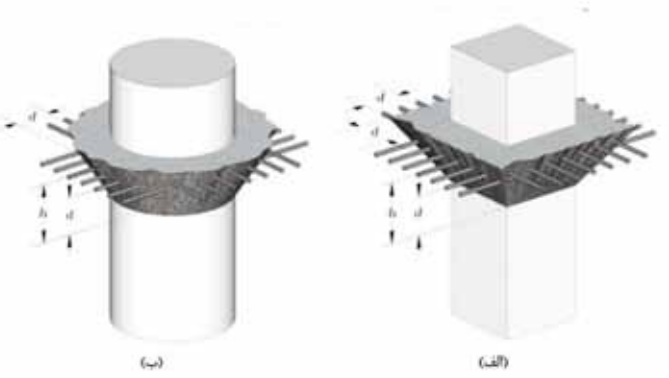
شکل ۲ دال بتن‌آرمه‌ی دوطرفه؛
الف) نحوه‌ی انتقال بار؛ ب) تغییر شکل دال بعد از اعمال بار [۱]

برش دوطرفه

برش دوطرفه و یا به عبارت دیگر برش منگنه‌ای، تمایل به ایجاد ترک مورب و برش دال تخت را در اطراف ستون تبیین می‌کند. انتقال بارهای قائم از دال تخت به ستون، باعث ایجاد نیروی برشی در اطراف ستون می‌شود. مطابق شکل ۳، نیروی برشی مذکور موجب ایجاد ترک قطری پیرامونی به شکل‌های یک مخروط ناقص و یک هرم ناقص به ترتیب برای ستون با مقطع دایروی و مستطیلی می‌گردد [۱].
زاویه‌ی تورب ترک در برش منگنه‌ای بین ۲۵ تا ۴۵ درجه نسبت به افق متغیر است

1-One-Way Slab
2-Two-Way Slab

که به طور معمول برابر با ۴۵ درجه در نظر گرفته می‌شود. از اینرو می‌توان فرض نمود که مقطع بحرانی در برش منگنه‌ای، یک مقطع قائم است که به فاصله‌ی $d/2$ (dعمق مؤثر دال است) از بر ستون قرار گرفته است. همچنین در ستون‌های با مقطع L شکل یا T شکل، مقطع بحرانی به فاصله‌ی $d/2$ از بَر ستون به صورتی در نظر گرفته می‌شود که کوچکترین محیط حاصل شود. در شکل ۳، مقطع بحرانی برش منگنه‌ای در پیرامون ستون‌ها با مقاطع مختلف و همچنین ستون‌های کناری و گوشه، با خط چین نشان داده شده است [۱].



شکل ۳ سطح شکست برش منگنه‌ای در دال دوطرفه‌ی بدون تیر و در اطراف یک ستون؛ الف) ستون مربعی؛ ب) ستون دایروی [۱]

دال‌های دوطرفه‌ی بتن‌آرمه با توجه به میزان میلگردگذاری خمشی که دارند، دارای دو رفتار متفاوت قبل از رسیدن به ظرفیت باربری خود می‌باشند. در صورتی که میلگردگذاری دال‌ها به صورتی طراحی شده باشد که در طی بارگذاری، ترک‌های خمشی در وجه کششی آنها ایجاد شود و همچنین تغییرشکل‌های بزرگی را قبل از وقوع شکست تجربه کنند، در این صورت با افزایش بار، میلگردها به نقطه‌ی تسلیم می‌رسند و خطوط گسیختگی در دال‌ها گسترش می‌یابند. در این حالت به منظور افزایش ظرفیت باربری و همچنین کنترل خیز دال‌ها، تقویت خمشی آنها از اهمیت بالایی برخوردار است در صورتی‌که میلگردگذاری دال‌ها به گونه‌ای طراحی شده باشد که دال‌ها در طول بارگذاری از خود رفتاری ترد نشان دهند و شکست آنها به صورت ناگهانی و با منگنه شدن ستون در دال به وقوع بپیوندد، تقویت آنها در برابر برش منگنه‌ای در دستور کار قرار می‌گیرد. از چند دهه‌ی پیش تا کنون به دلیل اهمیت موضوع و ماهیت نامطلوب برش منگنه‌ای، تحقیقات دامنه‌داری بر این مسئله صورت گرفته است و همچنین در آیین‌نامه‌ها مورد توجه واقع شده‌است. با توجه به اهمیت بررسی مسئله‌ی تقویت برش منگنه‌ای دال‌های تخت، به بررسی روش‌های تقویت برشی دال‌های دوطرفه که از دو دهه‌ی پیش تا کنون مطرح بوده‌است، پرداخته می‌شود.

روش‌های تقویت برشی دال‌های دوطرفه

به طورکلی، روش‌های مقاوم‌سازی برشی دال‌های دو طرفه با توجه به نوع، هندسه و جنس عناصر تقویت کننده می‌توانند به سه دسته‌ی کلی تقسیم‌بندی شوند: افزایش بعد تکیه‌گاه در اتصال دال-ستون، استفاده از عناصر تقویت کننده‌ی قائم و استفاده از عناصر تقویت کننده‌ی افقی.

در دسته‌ی اول، افزایش بعد تکیه‌گاه در اتصال دال-ستون از جمله، افزایش بعد کل ارتفاع ستون و ایجاد سرستون‌های بتنی و فولادی، منجر به افزایش ظرفیت برش منگنه‌ای دال‌ها می‌گردد (شکل ۴).

عناصر تقویت کننده‌ی افقی که با محدود نمودن رشد ترک‌های خمشی و برشی باعث افزایش ظرفیت برش منگنه‌ای دال‌ها می‌شوند، شامل موارد زیر هستند:

الف- ورقه‌ای فولادی

ب- نوارها و لمینت‌ها (فقط زمانی که از جنس کامپوزیت‌های FRP هستند)

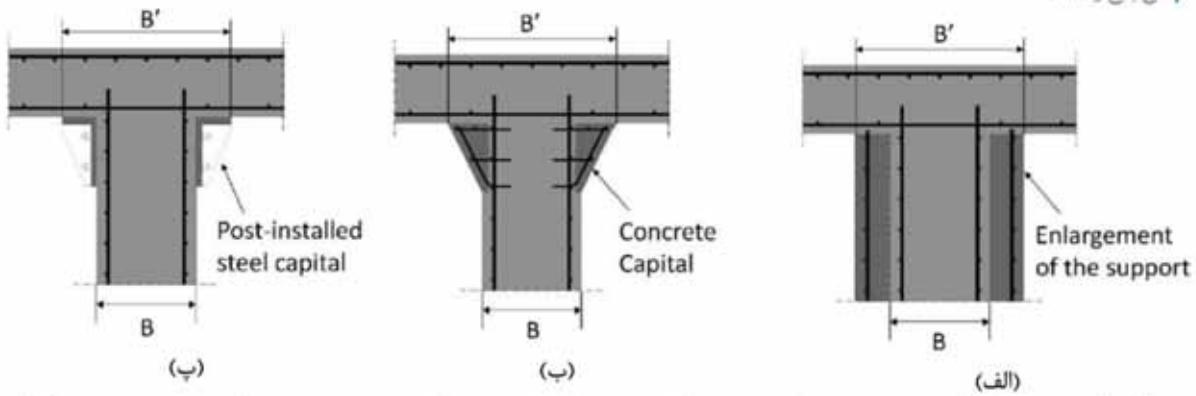
همچنین از عناصر تقویت کننده‌ی قائم که مانند تسلیح برشی موجب افزایش ظرفیت برش منگنه‌ای دال‌ها می‌گردند، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود(شکل ۵) که دو الگوی متداول قرارگیری آنها در دال‌ها به دو صورت شعاعی و متعامد است (شکل ٦):

الف- میله‌های فولادی و پیچ‌های برشی (از هر دو جنس فولاد و کامپوزیت FRP)

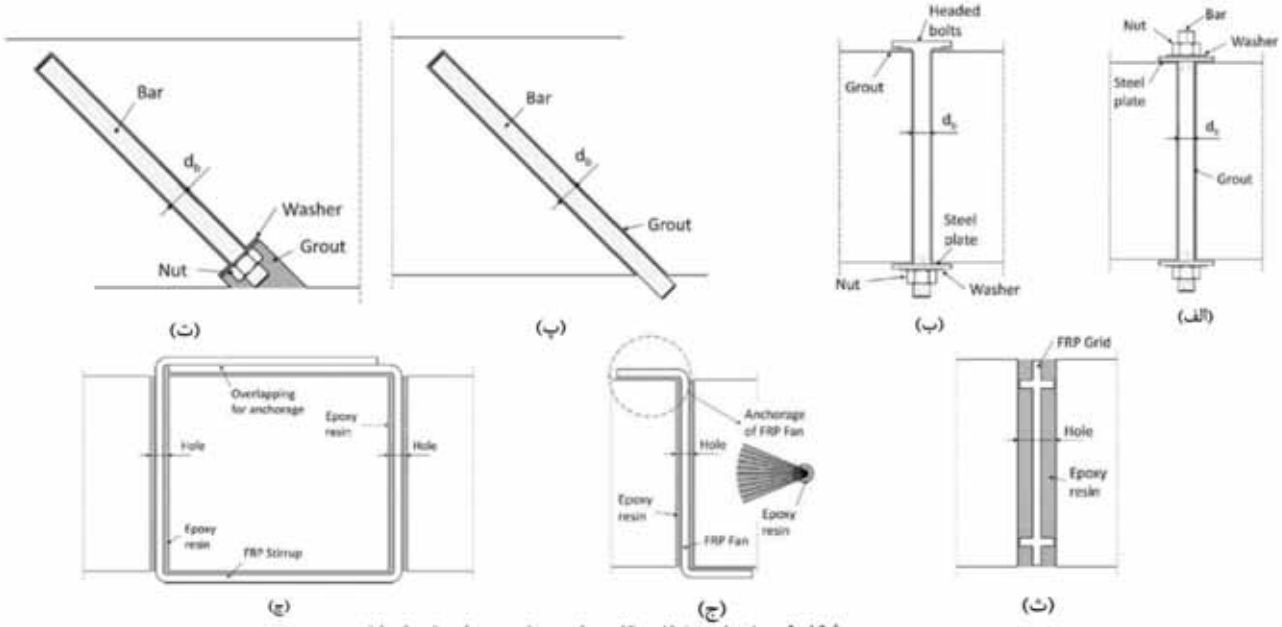
- میله‌های مهارشده با مهره، واشر و صفحه
- پیچ‌های سَردار
- میله‌های اتصال بدون مهار
- میله‌های اتصال مهارشده با مهره، واشر و گروت

ب- شبکه‌ها و بادبزن‌ها (فقط زمانی که از جنس کامپوزیت‌های FRP هستند)

پ- نوارهای دوخت شده به شکل خاموت (فقط زمانی که از جنس کامپوزیت‌های FRP هستند).



شکل ۴ افزایش بعد تکیه‌گاه در ناحیه‌ی اتصال دال-ستون: الف) افزایش بعد کل ارتفاع ستون؛ ب) ایجاد سرستون بتنی؛ پ) ایجاد سر ستون فولادی [۲]



شکل ۵ روش‌های مختلف مقاوم‌سازی برشی در پژوهش‌های اخیر:
الف) میله‌های مهارشده با مهره، واشر و صفحه [۳]؛ ب) پیچ‌های سَردار [۲]؛ پ) میله‌های اتصال بدون مهار [۲]؛ ت) میله‌های اتصال مهارشده با مهره، واشر و گروت [۴]؛
ث) شبکه‌های FRP [۵]؛ ج) بادبزن‌های FRP [۶]؛ چ) نوارهای FRP دوخت شده به شکل خاموت [۷]

شکل ٦ دو الگوی متداول قرارگیری پیچ‌های برشی، شبکه‌ها و بادبزن‌ها: الف) شعاعی؛ ب) متعامد [۲]

مراجع:

[۱]مستوفی نژاد، د.م.، سازه‌های بتن‌آرمه، جلد اول، چاپ سی و پنجم، انتشارات ارکان دانش، اصفهان، ۱۳۹۵.

[۲].Lapi, M., Ramos, A.P., and Orlando, M., "Flat Slab Strengthening Techniques Against Punching-Shear", Engineering Structures, Vol. 180, No. pp. 160-180, 2019.[3]El-Salakawy, E.F., Polak, M.A., and Soudki, K.A., "New Strengthening Technique for Concrete Slab-Column Connections", ACI Structural Journal, Vol. 100, No. 3, pp. 297-304, 2003.[4]Fernández Ruiz, M., Muttoni, A., and Kunz, J., "Strengthening of Flat Slabs Against Punching Shear Using Post-Installed Shear Reinforcement", Vol. 107, No. 4, pp. 434-442, 2010.[5]Meisami, M.H., Mostofinejad, D., and Nakamura, H., "Punching Shear Strengthening of Two-Way Flat Slabs with CFRP Grids", Journal of Composites for Construction, Vol. 18, No. 2, pp. 04013047, 2014.[6]Meisami, M.H., Mostofinejad, D., and Nakamura, H., "Strengthening of Flat Slabs with FRP Fan for Punching Shear", Composite Structures, Vol. 119, No. pp. 305-314, 2015.[7]Binici, B., "Punching Shear Strengthening of Reinforced Concrete Slabs Using Fiber Reinforced Polymers", PhD Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Texas at Austin, Austin, Texas, USA, 2003.

افتخارات نشریه پالار

دهمین جشنواره ملی

حرکت

بسم الله الرحمن الرحیم

شماره: ۸/۲۱۷۲۲۴
تاریخ: ۱۳۹۶/۹/۲۲

انجمن علمی دانشجویی صنعت هوا فضا دانشگاه تربیت مدرس

دبیرخانه جشنواره ملی حرکت

خالقان عرصه‌های مختلف علمی، همانا بستر سازان اصلی توسعه و ترویج گفتمان علم و فناوری در جامعه محسوب می‌شوند. پیشینه غنی علمی و فرهنگی ایران اسلامی بی‌تردید راه‌ساز تلاش شگرفی نظیر برخورداران و دانش پژوهان است. برپایی دهمین جشنواره ملی حرکت، گامی ارزشمند در راستای ایراد آخرین دستاوردها و توانمندی‌های دانش‌پژوهان جوان و بالندگی علم و فرهنگ در جامعه دانشگاهی می‌باشد.

با آرزوی آینده‌های سرشار از علوم‌های روشن، موفقیت و سربلندی برای شما امید است در پرتو عزم ملی و مجاهدت‌های علمی فرهیختگان این مرز و بوم و در سایه الطاف الهی، شاهد اعتلای روزافزون ایران اسلامی باشیم.

غلامرضا خادمی
معاون فرهنگی و اجتماعی

به نام خدا

شماره: ۸۱/۲۱۰۸۲۴
تاریخ: ۱۳۹۶/۰۸/۲۸

انجمن علمی دانشجویی صنعت هوا فضا دانشگاه تربیت مدرس

دبیرخانه جشنواره ملی حرکت

با شکست ریشه و تعالی علمی و فرهنگی کشور، و ساختن آینده‌های درخشان و امید آفرین نیازمند پویایی، اتحاد و خلاقیت برآمده از مسئولیت اجتماعی دانشگاه و دانشجویان است. در این مسیر انجمن‌های علمی دانشجویی و جشنواره ملی حرکت، بستر فرصت و عرصه‌های برای شکوفایی و حمایت از این توانمندی‌ها است.

اینگونه بود، یازدهمین جشنواره ملی حرکت، بستر نمایش و درخشش موفقیت‌های دانشجویان در عرصه‌های مختلف علمی است. لازم می‌داند از تلاش‌های بی‌دریغ، نوآوری و خلاقیت‌های بی‌شائبه‌ی تمامی شما عزیزان تشکر و قدردانی نمایم. باآرزوی آینده‌های سرشار از علوم‌های روشن، موفقیت و سربلندی برای شما امید است در پرتو عزم ملی و مجاهدت‌های علمی فرهیختگان این مرز و بوم و در سایه الطاف الهی، شاهد اعتلای روزافزون ایران اسلامی باشیم.

محمدهادی عسگری
مدیرکل فرهنگی و اجتماعی

کاربرد فناوری های برتر دنیا در صنعت ساختمان

مقدمه

تکنولوژی همواره در حال پیشـــرفت و دگرگونی است. صنعت ساخت‌وساز و صنایع ساختمانی نیز از این پیشـــرفت باز نمانده‌اند. با نگـــاهی به این صنعت، به سادگی شاهد این پیشـــــرفت‌ها و نظاره‌گر انواع نوآوری در تکنولوژی ساخت خواهیم بود . برخی از آخرین نوآوری‌هایی که در این نوشته مورد بررسی قرار می‌گیرد، زمانی علمی-تخیلی تلقی می‌شدند، لیکن امروزه شروع به یافتن راهی برای ورود به این صـنعت کرده‌اند. از دهه‌ی گذشـته، توجه بر روی مواد هوشـمند و سـاختمان‌هایی با راندمان انرژی بالا و طراحی‌های پایدار وجود داشته اما تکنولوژی‌هایی چون مصالح ساختمانی جدید، مثل بتن‌های نورانی، آجرهای تصفیه‌کننده‌ی هوا و ...، از جمله مواردی هستند که به تازگی در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین علاوه بر مصـالح ساختمانی نوین، شاهد نوآوری در تکنولوژی ساخت در این صنعت هســـــتیم. به عنوان مثال، استفاده از اینترنت اشیا (IOT) در ساخت و ساز و طراحی‌های جدید و نوین ساختمان، از جمله مواردی اســـت که می‌توان به آن اشـــاره کرد. تکنولوژی‌های واقعیت مجازی (VR) و (AR) نیز نمونه‌های دیگری از صـــنایع نوین دنیای فناوری هستند که می‌توانند به خوبی در ساخت و ساز اماکن مسـکونی مورد استفاده قرار گیرند. در ادامه، برخی از این فناوری‌های برتر را به اختصار شرح می‌دهیم.

۱- واقعیت مجازی (Visual Reality) و واقعیت افزوده (Augmented Reality)

واقعیت افزوده و مجازی، اطلاعات مفیدی همچون هشدارهای بهداشتی و سلامت، آمار بهره‌وری و مشخصات طراحی را به مهندسان داده و باعث سهولت در این زمینه‌ها می‌شود. اگرچه این فناوری‌ها جدید نیستند اما کاربرد آنها در صنعت ساختمان نوین است.

۲- مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (Building Information Modeling)

این فناوری، به فرآیند تبدیل نقشه‌های ساختمانی به واقعیت سرعت بخشیده و کاربرد گسترده‌ای از طراحی و ساخت تا بهره‌برداری و حتی تخریب ساختمان‌ها دارد. به عنوان مثال، این فناوری در مدیریت ساخت، در بخش‌های برنامه زمان‌بندی عملیات، تخمین هزینه ساخت و برنامه‌ریزی تجهیز کارگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳- طراحی‌های پایدار (Sustainable Designs)

تقاضا برای مواد هوشمند و شبکه‌های هوشمند برق، ساختمان‌های هوشمند با سنســـــورهای تعبیه شده و سایر تکنولوژی‌های توسعه یافته، مهندسان عمران را به ابداع طراحی‌های پایدار ترغیب می‌کند. در این بخش به عنوان مثال، می‌توان از ساختمان انرژی صفر (Zero Energy Building) نام برد.

۴- پهپادها (Drones)

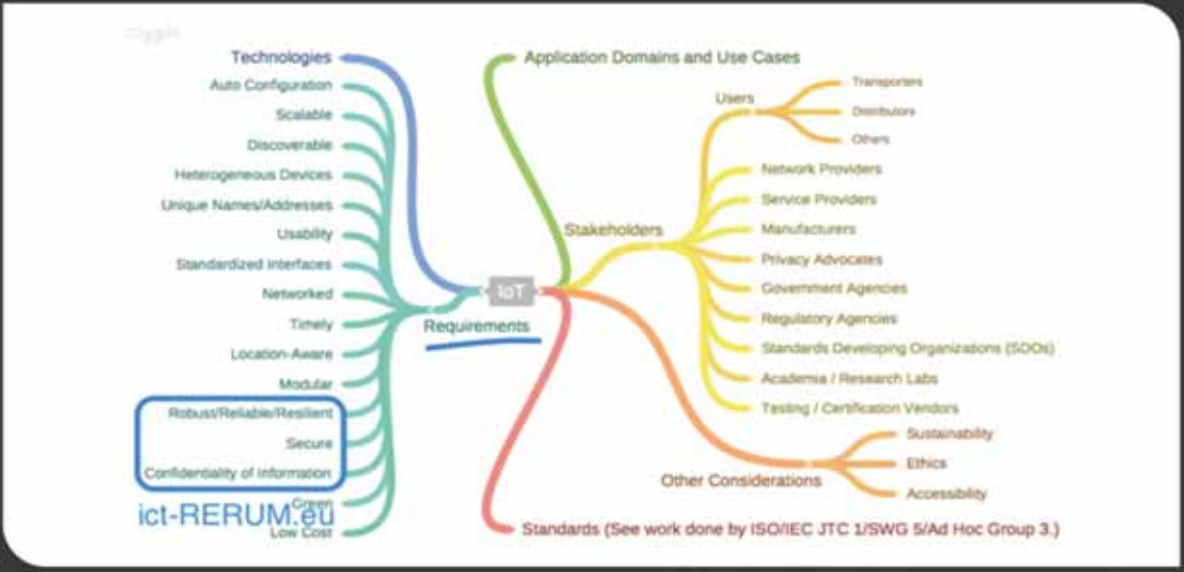
پهپادها در سال ۲۰۱۷ رشد قابل ملاحظه‌ای داشتـــه‌اند که انتظار می‌رود این رشد همچنـــان ادامه یابد. این پرنده‌هـــــای بدون سرنشـین این امکان را به مهندسان و نقشه‌برداران می‌دهند تا بدون نیاز به دسترسی به بخش‌های خطرناک ساخت و ساز، در مدت چند دقیقه داده‌ها را از مناطق مختلف سایت‌های ساخت و ساز بزرگ، جمع‌آوری کنند.

۵- مصالح ساختمانی پیشرفته (Advanced Building Materials)

مصالح ساختمانی پیشرفته، طراحی‌های آینده مهندسان عمران را شکل می‌دهد. به عنوان مثال، ساختمان‌ها در شهرهای بزرگ سراسر جهان با دی اکسید تیتانیم فتوکالیستی پوشش داده می‌شوند تا از آلودگی هوا جلوگیری کند. از دیگر نمونه‌های این مواد، می‌توان به استفاده از مواد خود ترمیم کننده در بتن و آسفالت، چوب شفاف و اسکله شناور (Floating piers) اشاره کرد.

۶- اینترنت اشیا (Internet Of Things)

به طور خلاصه، این تکنولوژی امکان برقراری ارتباط با اشیا و مبادله داده‌ها را فراهم می‌کند. این قابلیت قادر به ضبط اطلاعاتی مانند تغییرات در رطوبت بتن، ارتعاشات و تغییر شکل غیر طبیعی است. همچنین در فرایند بهره‌برداری از ساختمان‌ها، علی‌الخصوص ساختمان‌های بزرگ، مفهوم اینترنت اشیاء برای مدیریت مصرف انرژی، کنترل دما، رطوبت، امنیت و دسترس پذیری داخل ساختمان و مشاعات آن‌ها، تحولاتی را پیش‌بینی پذیر نموده که لازم است تا در فرآیند ساخت و ساز لحاظ گردند.



۷- فناوری چاپ سه بعدی (3D Printing Technology)

سال ۲۰۱۷، شاهد جهش خوبی بر به کارگیری از این تکنولوژی در حوزه‌های مختلف ساخت وساز بود. این روند در سال ۲۰۱۸ و پس از آن نیز ادامه دارد. چاپ سه بعدی، طراحی‌های مهندسان را نه‌تنها در ساخت ماکت، بلکه در ساخت نمونه‌ی اصلی یا اجزاء آن عملیاتی می‌کند و در حال حاضر نیز آمادگی ساخت کامل خانه و پل‌ها را در حالت خاص و پیشرفته دارد. به عبارتی، هنوز برای حالت‌های عادی، این تکنولوژی عمومی نشده و با موانعی از جمله هزینه بالا روبه رو می‌باشد.

۸- روبات ها (Robots)

روبات‌ها در صنعت ساخت و ساز آینده، وظایف انسانی را به طور کامل انجام می‌دهند و نه تنها به ایمنی و بهره‌وری کارکنان بهبود می‌بخشند، بلکه باعث می‌شوند تا در درازمدت هزینه‌ها کاهش یابد. البته که در این مسیر، چالش‌هایی نظیر هزینه و میزان قابلیت اطمینان به آنها وجود دارد.

چرا باید از تکنولوژی‌های نوین در صنعت ساختمان استفاده کنیم؟

یکی از مهمترین عوامل تاثیرگذار در هدررفت انرژی در ساختمان‌ها، مصالح ساختمانی به کاررفته در ساخت ساختمان یا نم‌کاری آن‌ها است. مصالح ساختمانی می‌توانند باعث هدررفت انرژی شوند یا به عنوان عاملی موثر در بهینه‌سازی مصـــرف انرژی در ساختمان به‌کار آیند. در سال‌های اخیر، تکنولوژی به کمک آمده تا مصالح ساختمانی نیز همانند سدی برای جلوگیری از هدررفتن انرژی مورد استفاده قرار گیرند.

تکنولوژی‌های جدید کمک می‌کنند تا مصالح ساختمانی مختلف از بتن گرفته تاآجر و حتی چوب‌ها به نحو بهینه تولید شوند. در روند ساخت مصـالح ساختمانی، از تکنولوژی‌های پیشـرفته‌ای استفاده می‌شود تا به عایق‌بودن مصـالح ساختمان کمک کنند. هر نوعی از مصـالح ساختمانی که عایق بهتری باشد، جهت بهینه‌سازی مصـرف انرژی در ساختمان مفیدتر است. بهینه سازی مصـرف انرژی به کمک تکنولوژی، یک نوآوری در تکنولوژی ساخت محسـوب می‌شود. علاوه بر آن، استفاده از سیسـتم‌های یکپارچه برای کنترل و مدیریت اماکن مسـکونی (به عنوان مثال، سیسـتم مدیریت ساختمان یا BMS که می‌تواند به طرز چشـمگیری به بهبود وضعیت ساختمان‌ها کمک کند)، یکی دیگر از این کاربردهاست. برخی از کاربردهای این سیستم را در زیر مشاهده می‌کنید:

- سیستم کنترل دما
- سیستم تهویه‌ی هوا
- دوربین‌های مداربسته
- کنترل عبور و مرور و درب‌ها
- تشخیص و اطفاآتش‌سوزی
- سیستم پخش داده و اطلاعات
- خطوط مخابراتی ساختمان
- سیستم آنتن و سیگنال
- منابع اضطراری (برق و آب)
- سیستم واکنش به خطر
- سیستم نرم افزاری و کنترل

این سیستم به وجودآمده است تا شرایط زندگی را برای انسان‌ها، امن، آسان و ارزانتر کند. شاید در نگاه اول، توسعه و نصب آن مخارج نسـبتا بالایی را به ساکنین تحمیل کند، اما در صورت استفاده، به دلیل کاهش هزینه‌های جانبی (مثل مصـــــــــرف منابع طبیعی و صرفه‌جویی)، می‌تواند به طرز چشمگیری در کاهش هزینه‌های ساختمان موثر باشد.

بارها تاکید کرده‌ایم که استفاده و به کارگیری تکنولوژی‌های نوین، همواره به بهبود وضعیت صنعت ساختمان کمک می‌کند. این بهبودها در راسـتای تامین امنیت و آسایش اهالی، افزایش امنیت ساختمان و همچنین کاهش هزینه‌های آینده ساختمان موثر هستند.

منابع:

Top 8 Upcoming Developments and Trends in Civil Engineering for 2018 and beyond

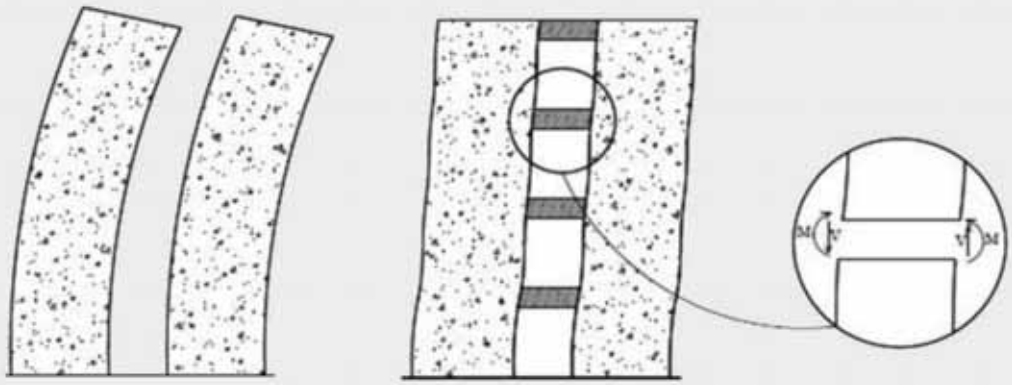
تیرهم بند

مقدمه

دیوارهای برشی از سیستم‌های شناخته‌شده‌ی باربر در ساختمان می‌باشند که در ترکیب با قاب‌های خمشی و یا همراه با دال بتنی (در ساختمان‌های با دال تخت)، به منظور تحمل بارهای جانبی در ساختمان به‌کار می‌روند. احداث دیوارهای برشی در ساختمان باعث افزایش سختی جانبی سازه و در پی آن کاهش خیز جانبی می‌شود. در اغلب موارد دیوارهای برشی قادرند بیشترین سهم نیروی برشی را تحمل کنند که موجب افزایش چشم‌گیر سختی ساختمان و کاهش قابل ملاحظه‌ی خسارت به عناصر غیرسازه‌ای می‌گردد. حال آن‌که می‌توان از ترکیب دیوارهای برشی در کنار قاب‌های خمشی به نحوی استفاده کرد که رفتار مجموعه‌ی سازه، نرم، مقاوم و شکل‌پذیر باشد. از دیگر مزایای استفاده از سیستم دیوارهای برشی، قابلیت تحمل بارهای ثقلی ساختمان توسط این اعضا حتی پس از پذیرش ترک‌های زیاد می‌باشد، در حالی که ستون‌ها فاقد چنین خاصیتی هستند. مجموع چنین عواملی، دیوارهای برشی را تبدیل به یک سیستم باربر جانبی کارآمد می‌نماید که نسبت به قاب‌های خمشی قابل اطمینان‌ترند [۱].

با وجود مزایای عمده دیوارهای برشی، اجرای آن‌ها در برخی موارد به دلیل محدودیت‌های معماری امکان‌پذیر نیست. از مهم‌ترین موانع معماری در این خصوص، لزوم ایجاد بازشو می‌باشد. وجود بازشو در دیوار، با کاهش سطح موثر مقاوم در برابر برش و ایجاد انفصال در مسیر تحمل نیرو، منجر به کاهش قابل ملاحظه در سختی و ظرفیت باربری دیوار برشی و نهایتا ناکارآمدی سیستم سازه‌ای در تامین سختی جانبی مورد نیاز طراحی می‌گردد، به حدی که دیوار قادر به ارضای الزامات آیین‌نامه‌ای در مورد محدودیت تغییر مکان جانبی طبقات نیز نخواهد بود. از طرفی تمرکز تنش در اطراف بازشو سبب شکست‌های غیر منتظره در دیوار به عنوان عضو اصلی باربر جانبی ساختمان می‌گردد [۲].

به منظور برطرف‌کردن چنین مشکلی می‌توان دیوارهای برشی دارای بازشو را به صورت دو دیوار مجزا در نظر گرفت که با استفاده از یک تیر رابط به یک‌دیگر متصل شده‌اند. دیوارهای مذکور را "دیوارهای برشی هم‌بسته" (coupled shear walls)، و تیر رابط را "تیرهم‌بند" (coupling beam)، می‌نامند. در این حالت سختی ترکیبی دو دیوار برشی هم‌بسته از جمع سختی آن دو دیوار به طور مجزا بیش‌تر است. هم‌چنین دیوارهای برشی هم‌بسته تغییر شکل جانبی ساختمان و میزان لنگرهای خمشی در دیوار را کاهش می‌دهند [۳].



(ب) (الف)

شکل ۱- دیوارهای برشی، الف) دیوارهای برشی هم‌بسته ب) دو دیوار برشی مجزا [۳]

در شکل ۱، دو دیوار برشی مجاور به صورت مجزا و به صورت همبسته نشان داده شده‌است. در این شکل ملاحظه می‌شود که تغییرشکل دیوارهای برشی مجزا و دیوارهای برشی همبسته کاملا با هم متفاوت است. در حقیقت دو دیوار برشی مجاور و مجزا تغییرشکل خمشی از خود نشان می‌دهند، در حالیکه تیر همبند با انتقال برش و لنگر خمشی بین دو دیوار، رفتار دیوارهای برشی همبسته را به‌رفتار قاب خمشی نزدیک کرده و تغییرشکل جانبی را نیز به تغییرشکل برشی نزدیک می‌کند [۳].

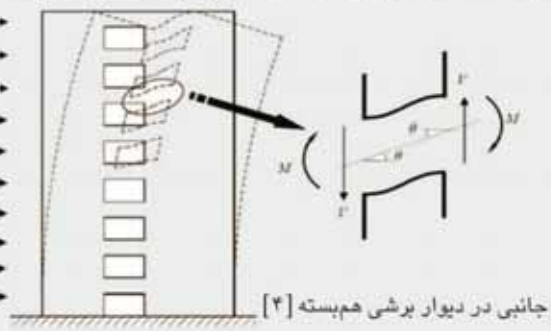
سختی تیر رابط (تیر همبند)، تاثیر به‌سزایی در رفتار دیوارهای برشی همبسته دارد، به‌طوریکه اگر سختی آن کم باشد، رفتار مجموعه به‌رفتار دو دیوار برشی مجزا و اگر سختی تیر پیوند زیاد باشد، رفتار مجموعه به‌رفتار یک دیوار برشی کامل و پیوسته در محدوده‌ی آن دو دیوار، نزدیک می‌شود.

شکل ۲- نمونه‌ای از اجرای تیر هم‌بند به همراه آرماتورگذاری قطری در مرکز آن [۳]

از آنجا که تیر همبند نیروی برشی قابل‌توجهی را از یک دیوار برشی با عملکرد کنسولی به دیوار برشی دیگر انتقال می‌دهد، تغییرشکل برشی زیادی در آن به وقوع می پیوندد. در نتیجه، این تیر در زلزله سریعا تخریب می‌شود.

تحقیقات نشان داده‌است که قراردادن میلگردهای قطری طولی و عرضی در تیر همبند، تاثیر به‌سزایی در بهبود رفتار این تیر در بارهای تناوبی دارد. این فولادگذاری به صورت خرپا عمل کرده و نیروی کششی T و نیروی فشاری C را منتقل می‌کند، به‌طوریکه این عملکرد می‌تواند منجر به انتقال نیروی برشی V و لنگر خمشی M به صورت زیر شود [۳]:

$$T = C = \phi A_{vd} f_y$$
$$V_n = 2T\sin\alpha = 2\phi A_{vd} f_y \sin\alpha$$
$$M_n = \phi A_{vd} f_y \cos\alpha (h - 2d')$$



شکل۳- توزیع نیروی جانبی در دیوار برشی هم‌بسته [۴]

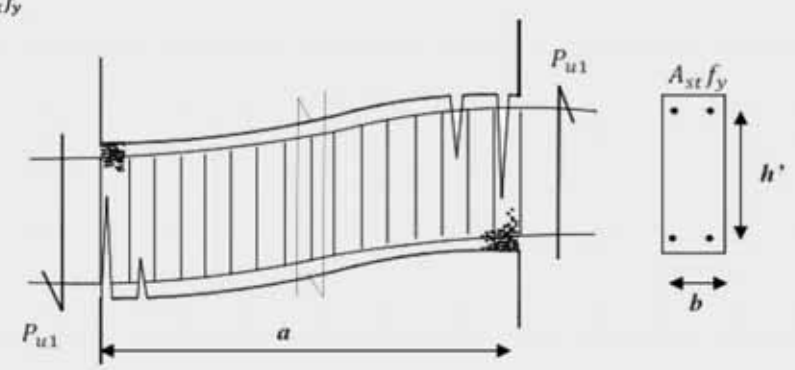
مروری بر رفتار دیوارهای برشی همبسته

مطالعات گسترده‌ای تاکنون در زمینه‌ی چگونگی رفتار دیوارهای برشی هم‌بسته، رفتار تیر پیوند و مدهای شکست آن‌ها انجام گرفته و روش‌های گوناگونی جهت تحلیل و تخمین ظرفیت نهایی تیرها پیشنهاد شده است که از آن‌جمله می‌توان به روش‌های الاستیک مانند روش اتصال پیوسته و قاب اصلاح‌شده و روش غیرخطی اجزای محدود اشاره کرد. در این میان روشی که توسط سوبدی در سال ۱۹۹۱ پیشنهاد شد [۵و۶]، با وجود سادگی، رفتار تیر و دیوار را به خوبی تشریح می‌نماید که در ادامه به بیان جزئیات آن پرداخته می‌شود.

۱-رفتار خمشی

تیرهم‌بند تحت تاثیرلنگر خمشی مساوی در دو انتها است، در این حالت با افزایش نیروی برشی، ترک‌های خمشی در ناحیه فشاری گسترش یافته که منجر به خردشدگی و تخریب بتن در ناحیه فشاری می‌شود. این مد شکست در تیرهای با عمق کم و ظرفیت خمشی اندک رخ می‌دهد. شکل ۴، تغییرشکل تیر هم‌بند در این حالت را نشان می‌دهد. همچنین در این حالت ظرفیت نهایی تیر بر مبنای ظرفیت خمشی تیر و مطابق رابطه زیر به‌دست می‌آید.[۵]

$$Pu1 = \frac{2h'}{a} A_{st} f_y$$



شکل ۴- تغییرشکل تیر هم‌بند تحت رفتار خمشی [۵]

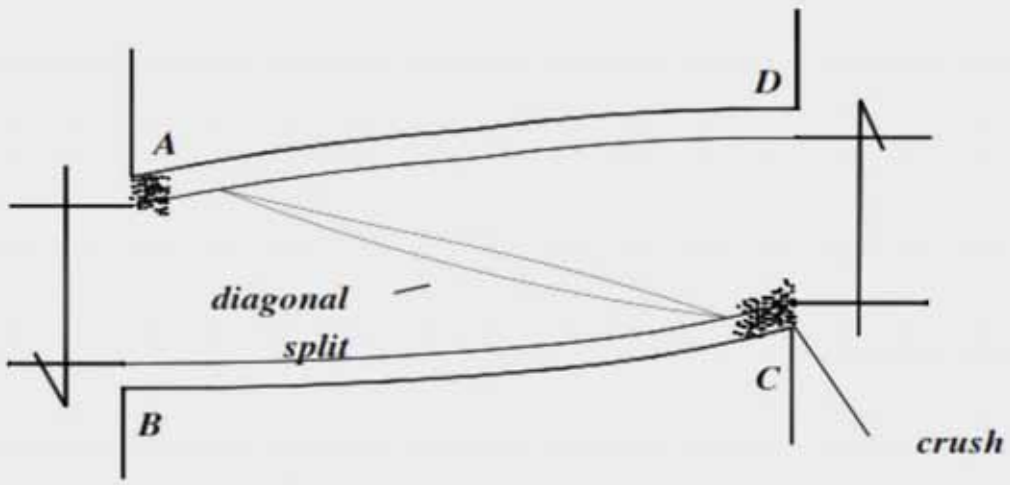
۲-رفتار برشی

در این حالت آرماتورهای موجود در هر دو لایه‌ی فوقانی و تحتانی تیر در کشش خواهند بود. شکل ۵، تیر هم‌بند را نشان می‌دهد که در اثر نیروی برشی، تغییرشکل داده‌است. تیر در راستای AC تحت فشار و در راستای BD در کشش است. هنگامی‌که تنش در راستای BD به حداکثر تنش کششی قابل تحمل برای بتن می‌رسد، بتن ترک خورده و ظرفیت باربری تیر از ظرفیت کششی آرماتورهای افقی و عمودی تامین می‌شود.

$$f_{tc} b \sqrt{(h')^2 + a^2}$$

نیروی متناظر با شکست بتن در راستای قطری:

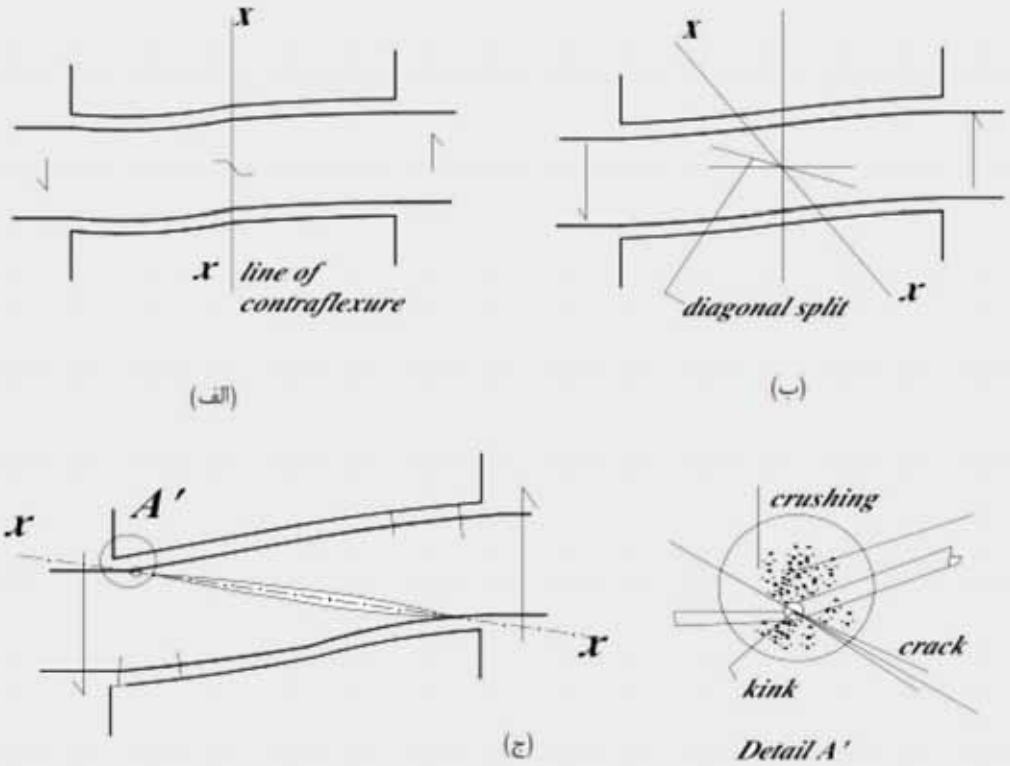
شکست تیر در این حالت با ایجاد و گسترش ترک قطری به سمت آرماتورهای طولی موجود در بالا و پایین تیر و خردشدگی بتن در ناحیه فشاری رخ می دهد [۵].



شکل ۵- تغییرشکل تیر هم‌بند تحت رفتار برشی [۵]

۳-رفتار ترکیبی

رفتار واقعی تیرهای همبند، در اصل ترکیبی از رفتار برشی و خمشی خواهد بود که به‌صورت غلبه نیروی برشی یا خمشی مشاهده می‌شود [۵].



شکل ٦- تغییرشکل تیر هم‌بند تحت رفتار ترکیبی برشی و خمشی، الف) محل محور خنثی ب) ایجاد ترک قطری، ج) گسترش شکست قطری در اثر افزایش نیرو [۵]

طبق ضوابط ACI-318 برای تیرهای همبند، بسته به نسبت طول تیر به ارتفاع‌آن ($\frac{\ell_n}{h}$)، ضوابطی به شرح زیر آورده شده است:

۱-اگر $\frac{\ell_n}{h} \geq 4$ باشد، نیازی به استفاده از فولادگذاری قطری در تیر همبند نیست. در این حالت فولادگذاری تیر همبند از ضوابط اعضای خمشی در قاب‌های خمشی ویژه و با فرض دیوار مرزی به عنوان ستون، تبعیت می‌کند.

فولاد طولی در بالا و پایین تیر هم‌بند قرار داده می‌شود، به‌طوریکه $\rho \leq 0.025$ باشد. اولین فولاد عرضی در فاصله‌ای حداکثر برابر با ۵۰ میلیمتر از تکیه‌گاه قرار می‌گیرد. همچنین در فاصله‌ای برابر با 2 h از وجه تکیه‌گاه، فولادهای عرضی با قلاب لرزه‌ای در انتها، با فواصلی به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$S_{\max} = \min\left\{\frac{d}{4}.\ 6d_b.\ 150mm\right\}$$

۲- اگر $\frac{\ell_n}{h} < 4$ بوده و شرایط بند ۳ برقرار نباشد، اجازه داده می‌شود که تیر همبند با دو گروه متقاطع از میلگردهای قطری که به طور متقارن نسبت به وسط دهانه قرار گرفته‌اند، مسلح شود و یا فولادگذاری تیر همبند بر اساس ضوابط اعضای خمشی در قاب‌های خمشی ویژه به صورتی که در بند ۱ اشاره شد، انجام گیرد.

۳- اگر $\frac{\ell_n}{h} < 2$ بوده و نیروی برشی با ضریب $V_n \geq 0.33\lambda\sqrt{f'_c}A_{cw}$ باشد (A_{cw} سطح مقطع تیر همبند است)، تیر همبند با دو گروه متقاطع از میلگردهای قطری متقارن نسبت به وسط دهانه مسلح می‌شود.

۴- تیرهای هم بند مسلح به دو گروه متقاطع از میلگردهای قطری متقارن نسبت به وسط دهانه، باید ضوابط زیر را برآورده کنند:

هرگروه میلگردهای قطری حداقل شامل چهار میلگرد در دو یا چند لایه هستند که پیرامون یک هسته مرکزی قرار گرفته‌اند. مقاومت برشی اسمی تیر همبند از رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود:

$$V_n = 2A_{vd}f_y\sin\alpha \leq 0.83\sqrt{f'_c}A_{cw}$$

۵- مشارکت این میلگردها در تامین ظرفیت خمشی را می‌توان بر اساس رابطه‌ی زیر ارزیابی نمود.

$$M_u = \phi A_{vd}f_y\cos\alpha(h - 2d')$$

تغییراتی که در نسخه جدید آیین‌نامه ACI318-19 ایجاد شد در این بخش به صورت زیر می‌باشد:

تیرهای هم‌بسته شکل‌پذیر علاوه بر تامین الزامات مربوط به تیر هم‌بسته معمولی، ضوابط زیر را نیز باید رعایت نمایند.

- تیر هم‌بسته در تمامی تراز ساختمان، دارای نسبت طول تیر به ارتفاع بزرگ‌تر یا مساوی ۲ باشد.
- تیرهای هم‌بسته در تراز یک کف می‌بایست حداقل در ۹۰ درصد ترازهای ساختمان، دارای نسبت طول به ارتفاع کوچک‌تر یا مساوی ۵ باشد [۷].

مراجع:

[۱] شایختی، ن، حشمتی سعادتی، ع، "بررسی رفتار غیر خطی دیوار برشی بتنی دارای بازشو به روش طراحی بر اساس سطح عملکرد"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، ۱۳۸۷

[2] Demeter, I., Nagy-Gyorgy, T "Precast RC Wall Panels with Cut-Out Openings Retrofitted by CFRP Composites", 11 National and 5 International Scientific Meeting, NOVI SAD, (2009).

[۳] مستوفی‌نژاد، د، سازه‌های بتن‌آرمه، جلد دوم، انتشارات ارکان دانش، چاپ یازدهم، ۱۳۸۹

[4] Lu, X., Y., "Modeling of Coupled Shear Walls and Its Experimental Verification", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 131, No. 1, pp.75-84, 2005.

[5] Subedi, N. K., "RC-Coupled Shear Wall Structures. I: Ultimate Strength Calculation", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 117, No. 3, pp.667-680, 1991.

[6] Subedi, N. K., "RC-Coupled Shear Wall Structures. II: Analysis of coupling Beams, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 117, No. 3, pp.681-698, 1991.

[7] ACI Committee 318 "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14,19)" American Concrete Institute, Farmington Hills, 2019.

سقف‌های کوبیاکس

ایده طراحی

یک پرنده چگونه پرواز می‌کند؟ یکی از اساسی‌ترین مشخصه‌هایی که پرندگان را به پرواز درآورد، ساختار استخوان‌های آنهاست که با ساختاری فوق‌العاده موثر رشد می‌کند. غشایی مستحکم با جداره‌ها و حفره‌های تو در تو که به گونه‌ای حساب شده در محل خود قرار گرفته و پایداری معادل استخوان‌های توپر را به استخوان‌های پرنده می‌بخشد. حاصل، ساختاری موثر است که جرم کمتری داشته و مواد کمتری در آن مورد استفاد قرار می‌گیرد. این ساختار سبک و مستحکم پرنده را قادر به پرواز می‌کند.

اساس طراحی تکنولوژی Cobiax

اساس طراحی تکنولوژی Cobiax، مبتنی بر سقف سازه‌ای با ویژگی «سقف دال دوطرفه»، مشابه سقف‌های بتنی دال دوطرفه مرسوم است، با این تفاوت که هسته بتن مرکزی در محل‌هایی که کاربرد سازه‌ای ندارد، با گوی‌های توخالی (جنس این گوی‌ها پلی‌اتیلن بازیافتی یا پلی‌پروپیلن می‌باشد) جایگزین می‌گردد. به‌این‌صورت که این گوی‌ها در حد فاصل مش‌های میلگردی بالا و پایین قرار می‌گیرند. با توجه به آنکه در دال‌های بتنی دوطرفه، مشکل تحمل نیروی برشی وجود ندارد، مشکل طراحی این نوع سقف بر مبنای حذف قسمتی از بتن میانی و ایفای عملکرد دال دوطرفه می‌باشد. در فناوری Cobiax، با حذف بار مرده غیر سازه‌ای، خاصیت باربری دومحوره همچنان حفظ می‌گردد. همچنین با شکل‌گیری غشای بتنی مستحکم در قسمت فوقانی و تحتانی دال، به همراه شکل‌گیری شبکه تیرچه‌های داخلی در دو امتداد در اثر قراردهی گوی‌ها در سرتاسر فضای میانی دال بتنی، می‌توان باربری مناسبی را برای این دال متصور شد.

اجزای سیستم کوبیاکس

اجزای سیستم کوبیاکس شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- مدول قفسه‌ای (گوی‌های پلاستیکی به همراه خرپای فولادی)

۲- دال بتن آرمه

در سیستم Cobiax، اعضای دال سقف شامل بتن، آرماتور، توپ‌های توخالی

پلاستیکی و قفسه مسلح می‌باشد. توپ‌های توخالی در هسته مرکزی قفسه مسلح قرار گرفته و یک قفسه مدولار مسلح ایجاد می‌کنند. این گیج مسلح، بین دو لایه آرماتور زیرین و فوقانی دال قرار گرفته و با حذف بتن غیر باربر از درون دال، موجب سبک‌سازی آن می‌گردد.

مزایای فنی سیستم کوبیاکس

- باربری دومحوری
- بهینه‌سازی المان‌های عمودی مانند ستون‌ها و دیوارهای برشی (ستون‌های لاغرتر، کاهش ۴۰ درصدی حجمی و عددی ستون‌ها)
- بهینه‌سازی دال و فونداسیون (کاهش بارهای وارد بر پی، دال‌های تا ۳۰ درصد سبکتر)
- بهینه‌سازی المان‌های سخت‌کننده (کاهش بارهای افقی)
- کاهش ارتفاع کلی سازه (بهینه‌سازی ارتفاع)
- کنترل خیز بهتر
- مقاومت بهتر در برابر نیروهای زلزله (کاهش اثر آسیب‌های لرزه‌ای، کاهش ارتفاع و سبک شدن سازه)
- حذف تمام تیرهای اصلی

مزایای معماری کوبیاکس

- انعطاف‌پذیری در پلان معماری (کاهش عددی ستون‌ها)
- قابلیت پذیرش کاربری‌های گوناگون
- سهولت تغییر کاربری افقی و عمودی
- امکان اجرای کنسول تا ۷ متر
- امکان ایجاد بازشو در هر شکل و اندازه
- افزایش فضای مفید (قابلیت اجرای دهانه تا ۱۸ متر بدون اجرای ستون)

مزایای اقتصادی و علت توجیه طرح

- کاهش مصرف بتن
- کاهش المان‌های سازه‌ای
- کاهش مصرف آرماتور
- کاهش زمان ساخت
- کاهش هزینه‌های اجرای تاسیسات (حذف تیرها و مشکلات ناشی از آویزها)

- کاهش ارتفاع کلی سازه به دلیل بهینه‌سازی ارتفاع
- قابلیت انطباق با هرگونه معماری

نحوه چیدمان گوی‌های توخالی، اندازه و شکل دال بتنی بر اساس مقتضیات پروژه تعیین می‌گردند. کوبیاکس را می‌توان همراه با تکنیک‌های ساختمانی از قبیل پس‌کشیدگی و یا سازه‌های مرکب در دهانه بلندتر از ۱۸ متر مورد استفاده قرار داد.

مقایسه دال کوبیاکس با دال بتن توپر

- در دهانه‌های یکسان، ۵ الی ۳۰ درصد کاهش وزن و ۱۰ درصد کاهش ضخامت دال
- در ضخامت دال یکسان، کاهش وزن ۲۵ الی ۳۰ درصد افزایش دهانه ۵ درصد
- وزن یکسان دال‌ها، ۳۵ الی ۴۰ درصد افزایش دهانه و ۴۰ تا ۴۵ درصد افزایش ضخامت

اجرا و پیاده‌سازی

روش معمول اجرای سقف‌های حبابی پس از حمل و نقل از کارخانه به شرح زیر است:

- نصب شمع‌های موقت در فاصله ۴,۲ تا ۸,۱ متری
- قرار دادن اتصالات بین قطعات و ستون‌ها به طور موقت، بتن‌ریزی، ویبره کردن و لرزاندن
- خارج کردن شمع‌های موقت، بسته به خواست سازنده و اتمام کار

نحوه محاسبه هزینه تمام شده

هزینه تمام شده ساختمان در بخش اجرای سازه (شامل فونداسیون، ستون، دیوار برشی و سقف) عبارت است از مجموع هزینه‌های زیر در متر مربع زیربنا:

میلگرد مصرفی: میزان مقادیر میلگرد مصرفی بسته به نوع کاربری، تعداد طبقات، فواصل ستون‌ها از جدول زیر قابل استخراج است.

بتن مصرفی: میزان بتن مصرفی بسته به نوع کاربری، تعداد طبقات و فواصل ستون‌ها از جدول زیر قابل استخراج است.

دهانه (m)	کاربری	ضخامت (cm)	وزن (kg/m²)	مصرف مصالح	تعداد طبقات ۵	۷	۹	۱۱
۵	مسکونی	۲۰	۳۹۰	بتن	۰.۳۵	۰.۳۸	۰.۴۲	۰.۴۵
				میلگرد	۳۵	۳۸	۴۲	۴۵
	تجاری	۲۰	۳۹۰	بتن	۰.۳۵	۰.۳۸	۰.۴۲	۰.۴۵
				میلگرد	۳۸	۴۲	۴۵	۴۸
۷	مسکونی	۲۴	۴۵۰	بتن	۰.۳۸	۰.۴۲	۰.۴۵	۰.۴۸
				میلگرد	۳۸	۴۲	۴۵	۴۸
	تجاری	۲۶	۵۰۰	بتن	۰.۴	۰.۴۴	۰.۴۸	۰.۵
				میلگرد	۴۲	۴۵	۴۸	۵۲
۹	مسکونی	۲۸	۵۱۵	بتن	۰.۴۲	۰.۴۵	۰.۴۸	۰.۵۲
				میلگرد	۴۲	۴۵	۴۸	۵۲
	تجاری	۳۰	۵۶۵	بتن	۰.۴۵	۰.۴۸	۰.۵	۰.۵۵
				میلگرد	۴۵	۴۸	۵۰	۵۵
۱۱	مسکونی	۳۳	۶۳۰	بتن	۰.۴۵	۰.۴۸	۰.۵	۰.۵۵
				میلگرد	۴۵	۴۸	۵۰	۵۵
	تجاری	۳۸	۷۲۰	بتن	۰.۴۸	۰.۵۲	۰.۵	۰.۵۵
				میلگرد	۴۸	۵۲	۵۳	۵۸

*نرخ مبنا در جدول فوق برای بتن به ازای هر مترمکعب ۱,۵۰۰,۰۰۰ ریال و قیمت میلگرد به ازای هر کیلوگرم ۵۰,۰۰۰ ریال می‌باشد (۱۳۹۷/۰۵/۲۱).

*میزان میلگرد مصرفی بر مبنای کیلوگرم بر متر مربع زیربنا و بتن مصرفی بر مبنای متر مکعب بر متر مربع زیربنا می‌باشد.

*ستون سوم و چهارم جدول به ترتیب نشان دهنده ضخامت و وزن تقریبی سقف کوبیاکس است.

خدمات و پشتیبانی کوبیاکس: هزینه خدمات و پشتیبانی کوبیاکس شامل دو بخش به شرح زیر می‌باشد:

خدمات مهندسی شامل طراحی، محاسبات و تولید نقشه‌های سازه بر اساس سیستم کوبیاکس، آموزش گروه مجری سقف، حق امتیاز استفاده از تکنولوژی در پروژه و نظارت بر مراحل اجرا سقف، تولید و تحویل کیج ماژول‌های مورد نیاز پروژه.

دستمزد و اجراء: لازم است کارفرما برای اجرا سازه، پیمانکار مورد تائید خود را انتخاب نماید. بدیهی است حق الزحمه پیمانکار بر اساس شرایط منطقه و قیمت‌های متداول روز تعیین می‌شود.

منطق فازی و کاربردهای آن در برنامه‌ریزی حمل و نقل

● آرش رسا ایزدی
دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس

● امیررضا مهدوی
دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

همواره ساخت مدل‌هایی که بتوانند واقعیت را به خوبی و با کمترین میزان خطا توصیف کنند، یکی از دغدغه‌های اصلی پژوهشگران بوده‌است. از این‌رو، با تلاش پژوهشگران، مدل‌های کامل‌تر و دقیق‌تری به منظور توصیف واقعیت ارائه گردیده‌است. منطق فازی اولین بار توسط پروفسور علی زاده، پژوهشگر ایرانی‌الاصل معرفی گردید. از ویژگی‌های بارز منطق فازی می‌توان به برطرف کردن برخی محدودیت‌های نظریه احتمالات و استفاده از عبارت‌های گفتاری برای محاسبات اشاره نمود. با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد، منطق فازی در زمینه‌های مختلف علمی و عملی کاربردهای فراوانی دارد که در این مقاله به بررسی برخی کاربردهای منطق فازی در زمینه برنامه‌ریزی حمل و نقل پرداخته می‌شود.

کلمات کلیدی: منطق فازی، سیستم استنتاج فازی، کاربرد منطق فازی در برنامه‌ریزی حمل و نقل

مقدمه

ساخت مدل‌هایی که بیشترین تطابق را با دنیای واقعی دارند، همواره یکی از مهمترین دغدغه‌های محققان بوده‌است. از این‌رو، هرگاه محققان با سوالات جدیدی مواجه شدند که نتوانستند توسط مدل‌های پیشین به آنها پاسخ دهند، به دنبال راهکاری برای بهبود مدل‌ها یا حتی ایجاد قوانین و قواعد منطقی برای توصیف پدیده‌ها بوده‌اند. نظریه مجموعه‌ها یکی از پرکاربردترین نظریه‌ها در ریاضیات، مخصوصا شاخه آمار و احتمالات است که تقریبا همه مهندسان و محققان در انجام مطالعاتشان از این نظریه ارزشمند بهره می‌برند. اما لازم به ذکر است این نظریه که مبنای بسیاری از مباحث پایه‌ای ریاضی همچون احتمالات نیز هست، چندان بی‌کم و کاست نیست. به عنوان مثالی ساده اما مفهومی، می‌توان مجموعه روزهای زوج و فرد یک هفته را بررسی نمود. در مجموعه روزهای زوج یک هفته، روزهای شنبه، دوشنبه و چهارشنبه و در مجموعه روزهای فرد، روزهای یکشنبه، سه‌شنبه و پنجشنبه قرار می‌گیرند. اما روز جمعه در هیچ کدام از این مجموعه‌ها جایی ندارد. اگر روز جمعه به طور دقیق‌تر مورد بررسی قرار گیرد، مشخص می‌شود از یک‌سو روز جمعه در فردای یک روز فرد (پنجشنبه) واقع‌شده است، پس باید روزی زوج باشد. از سویی دیگر روز جمعه قبل از یک روز زوج است، پس باید روزی فرد باشد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که روز جمعه به طور کامل نه متعلق به مجموعه روزهای فرد است و نه به طور کامل جز روزهای زوج محسوب می‌گردد.

در دنیای واقعی مثال‌های فراوانی می‌توان آورد که در آنها چیزهایی وجود دارند به قسمی که به طور کامل در یک مجموعه قرار نمی‌گیرند، بلکه به صورت نصفه و نیمه متعلق به مجموعه‌های مختلفی هستند. برای چنین مسائلی نظریه مجموعه‌ها پاسخگو نیست، زیرا در نظریه مجموعه‌ها اصل بر این است که یک چیز، یا عضو یک مجموعه است یا نیست. موضوع دیگری که ذهن محققان را به خود درگیر کرده بود، این است که تمامی انسان‌ها در طول روز از عبارت‌های نادقیقی برای توصیف برخی مسائل که نیازمند اطلاعات دقیق هستند، استفاده می‌کنند و نکته جالب توجه این است که بدون آنکه در گفتوگو از اطلاعات دقیق استفاده کنند، منظور خود را به طور دقیق به مخاطبان می‌رسانند. به طور مثال در یک روز گرم تابستانی وقتی که شخصی وارد می‌شود و می‌گوید هوا خیلی گرم است، تمامی مخاطبان درک مناسبی از شرایط هوا پیدا خواهند کرد هر چند که شخص وارد شده، دمای دقیق هوا را اعلام نکرده است. هر کدام از حاضرین در جمع مذکور آستانه هوای گرم مخصوص به خودشان را دارند، به عنوان مثال شاید کسی هوای بالای ۴۰ درجه سانتیگراد و دیگری هوای بیشتر از ۳۵ درجه سانتیگراد را گرم بداند. اما هنگامی که در آن جمع صحبت از هوای گرم می‌شود، تمامی حاضرین درک درستی از بحث خواهند داشت.

در اوایل دهه‌ی ۶۰ میلادی یک دانشمند ایرانی‌الاصل به نام پروفسور لطفی علی‌زاده، مفهوم جدیدی را به نام منطق فازی معرفی نمود. این مفهوم علاوه بر برطرف نمودن برخی ضعف‌های نظریه مجموعه‌ها، قادر به استفاده از عبارات نادقیق برای محاسبات دقیق نیز بود (Zadeh, Killer & Yuan, 1996). به عبارت ساده‌تر می‌توان گفت منطق فازی علم محاسبه با کلمات[2] است (Zadeh, 1999). معمولا برای محاسبات و مدل‌سازی با استفاده از منطق فازی، از سیستم استنتاج فازی[3] استفاده می‌نمایند که کلیات آن در شکل ۱ نمایش داده شده‌است. سیستم استنتاج فازی یا به اختصار FIS از بخش های زیر تشکیل می‌شود:

- توابع عضویت برای متغیرهای ورودی و خروجی (فازی سازی[4])
- قواعد حاکم بر سیستم استنتاج فازی (موتور استنتاج فازی[5])
- استخراج مقدار خروجی از یک سیستم استنتاج فازی (خارج کردن از حالت فازی[6])

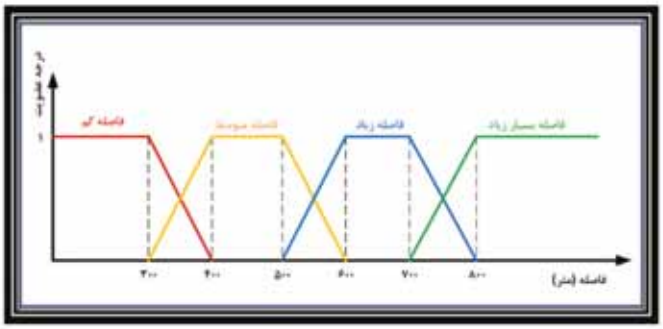
شکل ۱- بخش‌های مختلف یک سیستم استنتاج فازی

دو نمونه از سیستم‌های استنتاج فازی پرکاربرد، سیستم ممدانی و سیستم تاکاگی-سوگنو-کانگ هستند. به طور خلاصه، تفاوت این دو سیستم فازی در نوع متغیر خروجی آنها است. در سیستم استنتاج فازی ممدانی، متغیر خروجی از جنس فازی است، اما در سیستم استنتاج فازی تاکاگی-سوگنو-کانگ، متغیر خروجی از جنس عدد یا تابع ریاضی است (Belohlavek, Dauben & Kiler, 2017). در ادامه به بررسی هر یک از بخش‌های گفته شده در بالا پرداخته می‌شود و بعد از معرفی مختصر سیستم استنتاج فازی، مطالعات انجام شده توسط سیستم استنتاج فازی در مهندسی حمل و نقل بررسی می‌گردد.

توابع عضویت

برای تبدیل اعداد به حالت فازی از توابع عضویت استفاده می‌شود. توابع عضویت بیانگر این هستند که شی تا چه میزان به یک مجموعه تعلق دارد و از قواعد حاکم بر آن مجموعه تبعیت می‌نماید. در شکل ۲، نمونه‌ای از توابع عضویت برای فاصله مراکز هندسی دو ناحیه ترافیکی از یکدیگر آورده شده‌است. لازم به ذکر است مقدار حداکثر تابع عضویت برای یک عدد برابر با یک است که نشان می‌دهد آن مقدار به طور کامل (۱۰۰ درصد)، عضو مجموعه مورد نظر است و از قواعد آن مجموعه به طور کامل پیروی می‌نماید. بدیهی است اگر مقدار تابع عضویت آن برابر با صفر باشد، عدد مورد نظر مربوط به آن مجموعه نیست و از قواعد آن پیروی نخواهد کرد.

اما اگر مقدار تابع عضویت بین صفر و یک باشد، بیانگر آن است که آن عدد به طور کامل عضو مجموعه مورد نظر نیست و به میزانی از قواعد حاکم بر آن مجموعه پیروی می‌نماید. لازم به ذکر است معمولا توابع عضویت‌ها به نحوی تعریف می‌شوند که مجموع میزان عضویت یک شی در مجموعه‌های مختلف برابر با یک باشد، هر چند لزومی به رعایت این مساله نیست و در مواردی نیز توابع به گونه‌ای تعریف می‌گردند که مجموع مقادیر توابع عضویت یک شی بیشتر یا کمتر از یک می‌شود (Belohlavek, Dauben & Kiler, 2017).



شکل ۲- توابع عضویت برای تبدیل فاصله مراکز دو ناحیه ترافیکی به حالت فازی

مطابق شکل ۱، برای فاصله مراکز دو ناحیه ترافیکی، چهار حالت به شرح ذیل تعریف شده است:

- **مجموعه فاصله کم:** فاصله‌های کمتر از ۴۰۰ متر
- **مجموعه فاصله متوسط:** فاصله بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ متر
- **مجموعه فاصله زیاد:** فاصله بین ۵۰۰ تا ۸۰۰ متر
- **مجموعه فاصله بسیار زیاد:** فاصله‌های بیشتر از ۸۰۰ متر

تعداد این مجموعه‌ها، حد بالا و پایین آنها و همچنین شکل آنها (ذوزنقه‌ای، مثلثی، تابع زنگوله‌ای و...) با توجه به دید فرد خبره نسبت به موضوع و همچنین ماهیت متغیرها تعریف می‌گردند. شکل ۱ حاکی از آن است که فاصله ۲۰۰ متر به طور کامل متعلق به مجموعه فاصله کم است و به طور تمام و کمال از قواعد حاکم بر آن تبعیت می‌نماید. در حالی که فاصله ۳۵۰ متر به میزان ۵۰ درصد عضو مجموعه فاصله کم و ۵۰ درصد عضو مجموعه فاصله متوسط است. بنابراین، از قواعد هر دو مجموعه فاصله کم و فاصله متوسط (از هر کدام به میزان ۵۰ درصد)، پیروی می‌نماید.

قواعد حاکم بر سیستم استنتاج فازی

قواعد یک سیستم استنتاج فازی بیانگر چگونگی رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی هستند. برای درک بهتر آنها می‌توان از مثال تعیین شتاب یک خودروی خودران استفاده نمود که قواعد حاکم بر آن به شرح زیر است:

۱- اگر فاصله خودرو از خودروی جلویی زیاد باشد و سرعت خودرو کم باشد، شتاب مثبت جهت افزایش سرعت

۲- اگر فاصله خودرو از خودروی جلویی کم باشد و سرعت خودرو زیاد باشد، شتاب منفی جهت کاهش سرعت

۳- اگر فاصله خودرو از خودروی جلویی کم باشد و سرعت خودرو نیز کم باشد، شتاب صفر جهت ثابت نگه‌داشتن سرعت

۴- اگر فاصله خودرو از خودروی جلویی زیاد باشد و سرعت خودرو نیز زیاد باشد، شتاب صفر جهت ثابت نگه‌داشتن سرعت

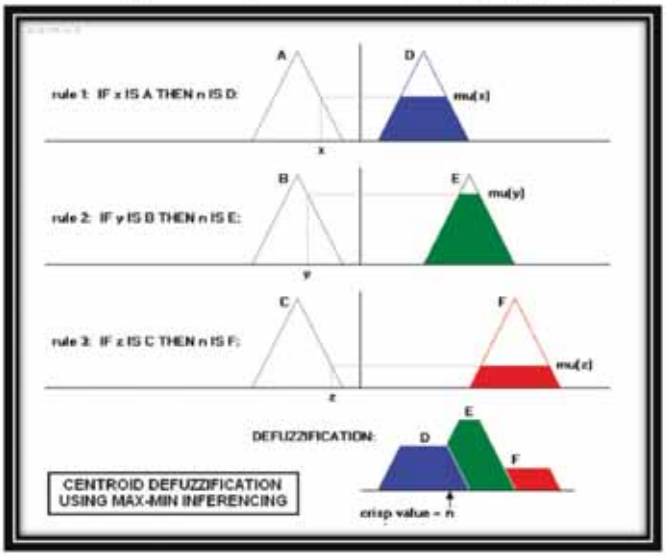
همانطور که در قواعد چهارگانه ذکر شده مشخص است، این سیستم استنتاج فازی، از دو متغیر ورودی (فاصله از خودروی جلویی و سرعت خودروی خودران) و یک متغیر خروجی (میزان شتاب لازم برای خودروی خودران) تشکیل شده است که هر کدام از این متغیرهای ورودی، دو تابع عضویت (کم و زیاد) و متغیر خروجی، سه

1-Fuzzy Logic
2-Computing with words (CW)
3-Fuzzy Inference System (FIS)
4-Fuzzification
5-Fuzzy Inference Engine
6-Defuzzification

تابع عضـویت (شتاب مثبت، شتاب صفر و شتاب منفی) دارند. میزان تابعیت از این قواعد بستگی به این دارد که فاصله و سرعت مورد نظر به چه میزان در مجموعه‌های کم و زیاد عضویت دارند.

استخراج از حالت فازی

آخرین مرحله، استخراج از حالت فازی است. با توجه به اینکه هر کدام از متغیرهای ورودی به چه میزان در مجموعه مورد نظر عضـــویت دارند، از قواعد مربوط به آن مجموعه پیروی می‌نمایند (سطح رنگی زیر تابع عضـویت مربوط به قاعده nام). با یکپارچه کردن این سـطوح، یک سـطح چند ضـلعی جدید به وجود می‌آید که به آن جواب فازی مساله گفته می‌شود (شکل۳). برای تبدیل این جواب فازی به حالت غیر فازی، راهکارهای متفاوتی وجود دارد که یکی از پرکاربردترین آنها محاسـبه مرکز سطح جواب فازی است (Belohlavek, Dauben & Kiler, 2017).



شکل۳-نحوه ترکیب قواعد مختلف جهت رسیدن به جواب فازی و تبدیل آن به حالت غیر فازی

بررسی مطالعات پیشین

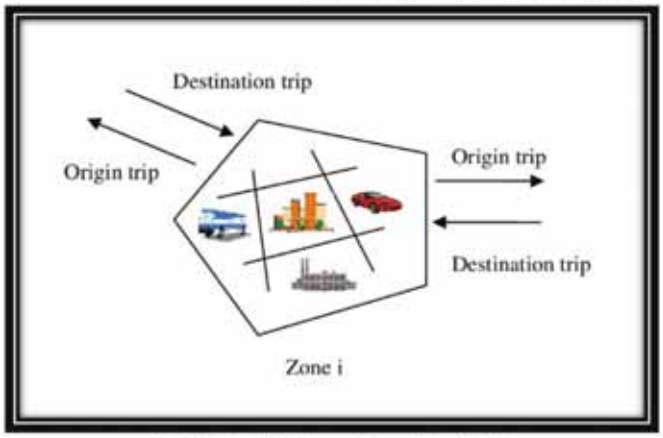
مـی‌توان گفت محققان تقـریبا در تمام زمینه‌های حمل و نقلـی، از مفاهیم فازی و همچنین منطق فازی استفاده نموده‌اند و غالبا نتایج بهتری را نســـــبت به حالت غیرفازی به‌دسـت آورده‌اند. برخی از زمینه‌های حمل و نقلی که منطق فازی در آنها پرکاربرد بوده به شرح ذیل است (Teodorovic, 1999):

- ایجاد سفر
- توزیع سفر
- تفکیک وسیله نقلیه
- انتخاب مسیر
- تخصیص ترافیک
- مساله سرمایه‌گذاری در پروژه‌های حمل و نقلی
- کنترل ترافیک در تقاطع‌ها
- کنترل ترافیک در یک کریدور
- کنترل شبکه
- تحلیل تصادفات
- سطح سرویس
- برنامه‌ریزی حمل و نقل هوایی، دریایی و ریلی
- زمان‌بندی و برنامه‌ریزی حرکت قطارها، هواپیماها و کشتی‌ها

در ادامه این مقاله، به بررسی مطالعات انجام شده دربرخی از زمینه‌های ذکر شـده پرداخته می‌شود.

الف. ایجاد سفر

اولین مرحله در مدل کلاسیک چهار مرحله‌ای برنامه‌ریزی حمل و نقل، مرحله ایجاد سـفر اسـت. در این مرحله، تعداد سـفرهای تولید یا جذب‌شـده هر ناحیه ترافیکی تعیین می‌گردد که برای این منظور معمولا از دو مدل کلاسـیک رگرسـیون خطی و طبقه‌بندی عرضی استفاده می‌شود (شکل۴).

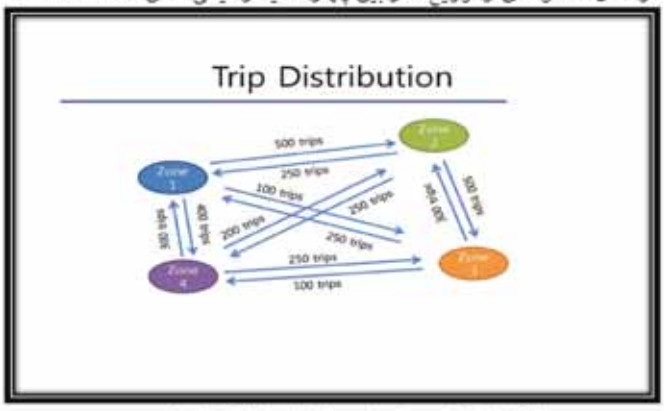


شکل ٤- تولید یا جذب سفر ناحیه ترافیکی i

در مطالعه‌ای برای تعداد سـفرهای کاری تولیدشـده یک ناحیه، دو مدل رگرسـیون خطی و مدل سیسـتم استنتاج فازی با متغیرهای مسـتقل یکسـان (جمعیت، تراکم، اندازه خانوار و مالکیت خودرو) ساخته شد. نتایج حاکی از آن بود که سیســـــتم استنتاج فازی، عملکرد به نسبت بهتری دارد در حالی که ضرایب متغیرهای مسـتقل در مدل رگرسیون خطی قابل تفسیر است (Rassafi et al., 2012). از ترکیب منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی، سیسـتم فازی عصـبی تطبیقی حاصل می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر که برروی تخمین تعداد سفرهای جذب شده غیراجباری (سفرهایی با هدفی غیر از کار و تحصـــــیل) انجام شد، نتایج دو مدل رگرسیون خطی و مدل سیستم عصبی فازی تطبیقی که دارای متغیرهای مستقل یکسانی بودند، با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج این مقایسه حاکی از آن بود که مدل عصبی فازی تطبیقی نتایج بسیار دقیق‌تری نسبت به مدل رگرسیون خطی دارد (مهدوی و ممدوحی، ۱۳۹۶).

ب. توزیع سفر

توزیع سـفر، دومین مرحله در مدل چهار مرحله‌ای کلاسـیک برنامه‌ریزی شـهری است. برای به‌دست آوردن ماتریس تقاضـای سـفر یک شـهر از روی میزان تولید و جذب سفر نواحی ترافیکی آن، معمولا از مدل‌های رشد یا جاذبه اسـتفاده می‌نمایند. در شکل ۵، نمونه‌ای از توزیع سفر بین چهار ناحیه ترافیکی نشان داده شده است.



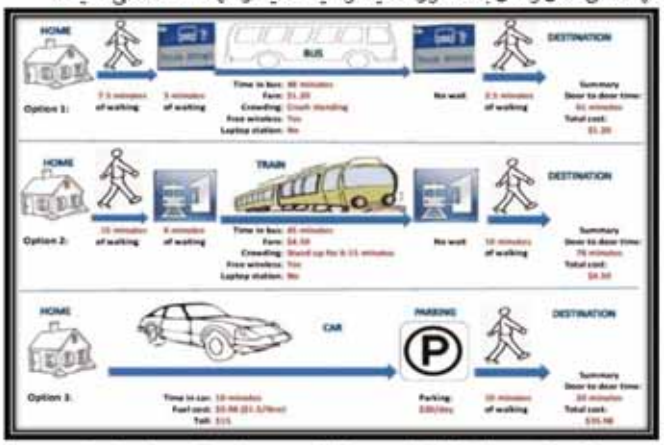
شکل ۵- توزیع سفر بین چهار ناحیه ترافیکی فرضی

از آن‌جایی که مدل‌های توزیع سفر بر مبنای نرخ افراد ساخته می‌شود و با توجه به نرخ نادقیق افراد، به نظر می‌رسد استفاده از مدل‌های فازی می‌تواند نتایج بهتری

در پی داشته باشد. در پژوهشـــی، نتایج ماتریس توزیع سفر به‌دست آمده از مدل جاذبه و مدل سیســـتم استنتاج فازی مقایســـه گردید که نتایج حاکی از آن بود که ماتریس توزیع سفر حاصل از مدل سیستم استنتاج فازی با واقعیت تطابق بیشتری دارد (Shafahi et al., 2008). همچنین در مطالعه‌ای دیگـــر، مدل‌های جاذبه و سیســـتم استنتاج فازی با یکدیگر مقایســـه شده‌اند که نتایج آنها نیز حاکی از قدرت بیشتر مدل سیســـتم استنتاج فازی در توصیف واقعیت بود (Othatyoth & Katty, 2017). در پژوهشـــی دیگر، از دو مدل سیســـتم استنتاج فازی و سیســـتم استنتاج فازی ژنتیک برای تخمین ماتریس توزیع سفر استفاده گردید. نتایج مقایسه این دو مدل، حاکی از آن بود که سیســـتم استنتاج فازی که با الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک بهینه گردیده است، نتایج مطلوب‌تر و واقعی‌تری نسبت به سیستم استنتاج فازی عادی دارد (Kompil & Celik, 2013).

ج. تفکیک وسیله

ســـومین مرحله از مدل کلاســـیک چهار مرحله‌ای برنامه‌ریزی حمل و نقل، تفکیک وسیله نقلیه است (شکل ٦). مدل‌های لوجیت و پروبیت مدل‌های متداولی هستند که مهندسان حمل و نقل به منظور تفکیک وسیله نقلیه از آنها استفاده می‌نمایند.

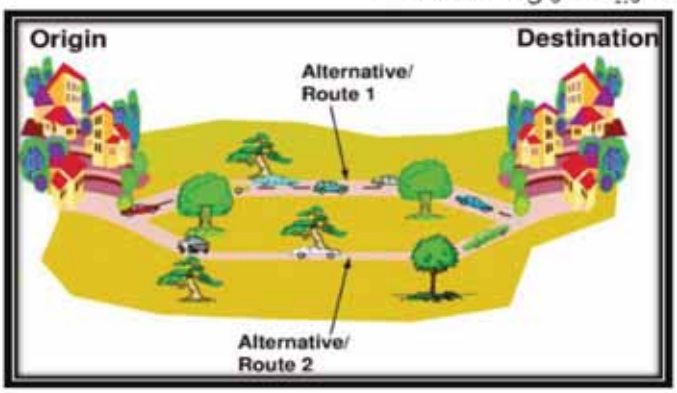


شکل ٦- نمونه‌ای از انتخاب وسیله افراد بین مبدا و مقصد سفرهای خود

از آن‌جایی که برای پرداخت این مدل‌ها از ویژگی‌های اقتصـــادی-اجتماعی افراد و بعضا نگرش آنها استفاده می‌شود، مدل‌های سیســـتم استنتاج فازی می‌توانند گزینه بهتری باشند. در مطالعه‌ای به منظور بررسی رابطه بین الگوی ســـفر و تمایل افراد به شیوه سفر جایگزین، از مدلی با متغیرهای فازی استفاده گردید (Kumar et al., 2013). همچنین در مطالعه‌ای دیگر برای انتخاب شیوه ســـفر حمل و نقل انبوه‌بر، از مدل سیستم استنتاج فازی استفاده شده است (Deb, 1993).

د. انتخاب مسیر

انتخاب مسیر، بخشی از مرحله چهارم مدل چهار مرحله‌ای کلاسیک یعنی تخصیص ترافیک است (شکل ٧). برای انتخاب مسیر در ادبیات تخصصـــی، از مدل‌ها و توابع مطلوبیت متفاوتی استفاده شده‌است.



شکل ٧- نمونه‌ای از مساله انتخاب مسیر بین مبدا و مقصد

اولین بار Teodorovic و Kikuchi برای مدل‌سازی مساله پیچیده انتخاب مسیر، از منطق فازی استفاده نمودند. مســـــال‌های که آنها با استفاده از استنتاج فازی در مطالعه خود بررسی نمودند، مساله انتخاب مسیر دوتایی بود. آنها در مســـاله خود فرض نمودند که شخص انتخاب‌کننده تنها مجاز است بین دو مسیر موجود بین مبدا و مقصد یک مسیر را انتخاب نماید. از آن‌جایی که در انتخاب مسیر، زمان سفر درک-شده یکی از عوامل بســـیار مهم است و این عامل، ماهیتی فازی دارد، آنها تصـــمیم گرفتند این عامل را به صورت فازی مدل نمایند (Teodorovic & Kikuchi, 1990). در مطالعه دیگری که بر مبنای این مطالعه بود، از ترکیب دو سطحی منطق فازی و شبکه‌های عصبی استفاده شد که حاکی از بهبود دقت نتایج مدل انتخاب مســـیر بود (Akiyama & Tsuboi, 1996). در مطالعه دیگری که بر روی مساله انتخاب مسیر انجام شده، هزینه‌های هر مســـیر به صورت فازی مدل شده‌است. همچنین در این مطالعه با اســـتفاده از منطق فازی، راهکاری جهت غلبه بر یکی از ضـــعف‌های مدل لوجیت (تاثیر همپوشانی داشتن مسیرها) ارائه شده است (Binetti et al., 2016).

مراجع

Akiyama, T., Tsuboi, H., 1996. Description of route choice behaviour by multi-stage fuzzy reasoning. Proc. of the Highway into the Next Century, Hong Kong, pp.739-746.

Bělohlávek, R., Dauben, J.W. and Klir, G.J., 2017. Fuzzy Logic and Mathematics: A Historical Perspective. Oxford University Press.

Deb, S.K., 1993, April. Fuzzy set approach in mass transit mode choice. In 1993 (2nd) International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis (pp. 262-268). IEEE.

Kompil, M. and Celik, H.M., 2013. Modelling trip distribution with fuzzy and genetic fuzzy systems. Transportation Planning and Technology, 36(2), pp.170-200.

Kumar, M., Sarkar, P. and Madhu, E., 2013. Development of fuzzy logic based mode choice model considering various public transport policy options. International Journal for Traffic and Transport Engineering, 3(4), pp.408-425.

Othayoth, D. and Katti, B.K., 2017. Modelling Trip Distribution Using Fuzzy Logic Approach. Transportation in Developing Economies, 3(2), pp.3-15.

Rassafi, A.A., Rezaei, R. and Hajizamani, M., 2012. Predicting urban trip generation using a fuzzy expert system. Iranian Journal of Fuzzy Systems, 9(3), pp.127-146.

Shafahi, Y., Nourbakhsh, S.M. and Seyedabrishami, S., 2008, October. Fuzzy trip distribution models for discretionary trips. In 2008 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (pp. 557-562). IEEE.

Teodorovic, D. and Kikuchi, S., 1990, December. Transportation route choice model using fuzzy inference technique. In [1990] Proceedings. First International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis (pp. 140-145). IEEE.

Teodorović, D., 1999. Fuzzy logic systems for transportation engineering: the state of the art. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 33(5), pp.337-364.

Zadeh, L.A., 1999. Fuzzy logic= computing with words. In Computing with Words in Information/Intelligent Systems 1 (pp. 3-23). Physica, Heidelberg.

Zadeh, L.A., Klir, G.J. and Yuan, B., 1996. Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers (Vol. 6). World Scientific.

مهدوی امیررضا، ممدوحی امیررضا، ١٣٩٦، مقایسه مدل رگرسیون خطی و سیستم فازی عصبی تطبیقی برای تخمین جذب سفرهای غیراجباری (مطالعه موردی شهر قزوین)، هفدهمین کنفرانس بین‌المللی حمل و نقل و ترافیک، تهران، ایران.

ارزیابی عملکرد و هزینه‌های لرزه‌ای سازه‌ها با استفاده از روش زمان‌دوام

علی حقانی
دانشجوی دکترای مهندسی عمران - زلزله دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

در شماره‌ی قبلی، مقاله‌ای با عنوان «روش زمان‌دوام و مزایای استفاده از آن در تحلیل‌های لرزه‌ای» ارائه گردید. در مقاله‌ی مذکور توضیحاتی در مورد فرضیات، مزایا، معایب، دقت نتایج و نحوه‌ی استخراج پاسخ سازه با استفاده از روش تحلیل دینامیکی زمان‌دوام بیان شد. در متن حاضر یکی از کاربردهای مهم این روش در تحلیل‌های لرزه‌ای، یعنی محاسبه‌ی هزینه‌ی لرزه‌ای سازه‌ها در طول عمر مفیدشان آورده شده‌است. در این مقاله نحوه‌ی تبدیل پاسخ سازه‌ای به عملکرد لرزه‌ای و تبدیل این عملکرد سازه‌ای به هزینه‌ها به‌صورت گام‌به‌گام توضیح داده شده‌است. با توجه به آنکه برای محاسبه‌ی عملکرد و هزینه‌های لرزه‌ای، نیاز به تحلیل پاسخ سازه در سطوح عملکرد مختلف می‌باشد، مزیت روش زمان‌دوام به دلیل کاهش حجم محاسباتی به همراه دقتی مناسب نسبت به سایر روش‌های موجود به خوبی مشخص می‌شود.

کلمات کلیدی: تحلیل لرزه‌ای، روش زمان‌دوام، ارزیابی عملکردی، هزینه‌ی لرزه‌ای

۱. مقدمه

در ارزیابی عملکرد لرزه‌ای یک سازه، هزینه‌ها یا خسارت‌ها عوامل تعیین کننده‌ای می‌باشند. به عبارت دیگر، سازه باید علاوه بر داشتن امنیت کافی حین وقوع زلزله، در هزینه‌های ساخت، نگهداری، تعمیرات و سایر موارد نظیر آنها، مقدار معقولی داشته باشد. خسارت‌های لرزه‌ای به سه بخش خسارت‌های ناشی از تلفات انسانی، خسارت‌های مالی مستقیم (هزینه‌ی تعمیر، تخریب و بازسازی) و خسارت‌های مالی غیرمستقیم (هزینه‌ی مربوط به‌زمان عدم استفاده از سازه و خواب سرمایه) تقسیم می‌شوند. برای تخمین خسارت‌های فوق معمولاً از پارامترهای سازه‌ای و تحلیل و ارزیابی این پارامترها در مدت زمانی مشخص (مثلاً در طول یک سال و یا عمر مفید سازه) استفاده می‌شود. در مقاله‌ی «روش زمان‌دوام و مزایای استفاده از آن در تحلیل‌های لرزه‌ای»، بیان شد که می‌توان با کمک روش زمان‌دوام و منحنی‌های پاسخ حاصل از آن، عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها در شدت‌های مختلف لرزه‌ای که با استفاده از دوره بازگشت زلزله بیان می‌گردد، به‌دست آورد.

خسارت‌ها و هزینه‌های ناشی از زلزله در سازه‌ها پارامتری کمّی می‌باشند. بنابراین در صورتی که عملکرد لرزه‌ای با شاخصی مناسب، به‌صورت عددی بیان شود، امکان بررسی همزمان آنها میسر خواهد بود. در این مقاله، نحوه‌ی محاسبه‌ی خسارت ناشی از زلزله و ارتباط آن با روش زمان‌دوام توضیح داده خواهد شد.

۲. ارزیابی عملکرد لرزه‌ای

برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای یک سازه تحت زلزله باید مراحلی مانند تعریف سطوح خطر لرزه‌ای، تحلیل سازه برای تعیین پاسخ آن، تعیین خرابی‌های محتمل در سطوح مختلف پاسخ و تخمین خسارت انجام پذیرد.

طبق دستورالعمل ATC-58، برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها سه روش وجود دارد. این روش‌ها عبارتند از: ارزیابی مبتنی بر شدت لرزه‌ای، ارزیابی مبتنی بر یک سناریوی لرزه‌ای و روش ارزیابی مبتنی بر زمان. در روش مبتنی بر زمان، عملکرد لرزه‌ای سازه در یک دوره‌ی زمانی مشخص تعیین می‌گردد. در دوره‌ی زمانی مشخص (که به اختیار می‌تواند یک، ۵۰ و یا ۷۵ سال باشد)، تمامی زلزله‌های ممکن در این دوره تخمین زده می‌شود. لازم به ذکراست که طول دوره‌ی زمانی، به تمایل کارفرمایان بستگی دارد. به کارگیری از عملکرد سالانه و در نتیجه‌ی آن محاسبه‌ی هزینه های سالانه می‌تواند برای مقایسه‌ی بین گزینه‌های مختلف مفید باشد. برای مقاصد دیگر می‌توان از سایر دوره‌های زمانی استفاده نمود [۱].

در روش مبتنی بر زمان می‌توان احتمال اینکه پارامتر مشخصی (به عنوان مثال هزینه تعمیر)، از حد معینی عبور نکند مورد بررسی قرار گیرد. معمولاً این نتایج برای دوره‌ی یک ساله تعیین می‌شود و سپس برای سایر دوره‌های زمانی به دست می‌آید [۲].

در ادامه، روش ارزیابی عملکرد لرزه‌ای مبتنی بر زمان به تفصیل توضیح داده می‌شود.

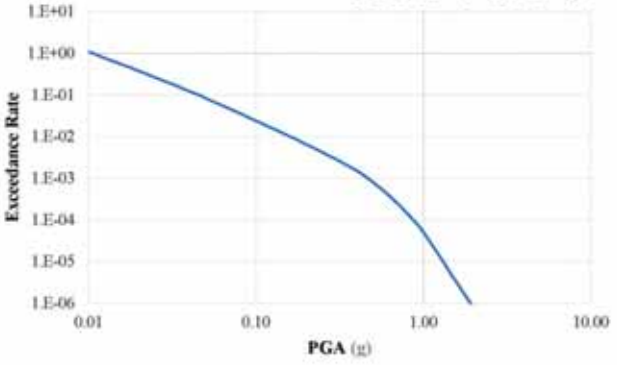
۳. ارزیابی عملکرد لرزه‌ای مبتنی بر زمان

همانطور که در سطور فوق توضیح داده شد، عملکرد لرزه‌ای سازه‌ای مبتنی بر زمان در یک دوره‌ی زمانی مشخص، با در نظرگیری تمامی زلزله‌های ممکن در آن دوره‌ی زمانی تخمین زده شده و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به این ترتیب، در این روش می‌توان مواردی نظیر احتمال فراگذشت سالیانه خسارت مالی ناشی از خرابی در سازه و میانگین خسارت مورد انتظار سالیانه را به‌دست آورد [۳].

در روش ارزیابی مبتنی بر زمان، ارزیابی برای مجموعه‌ای از شدت‌های لرزه‌ای که از روی

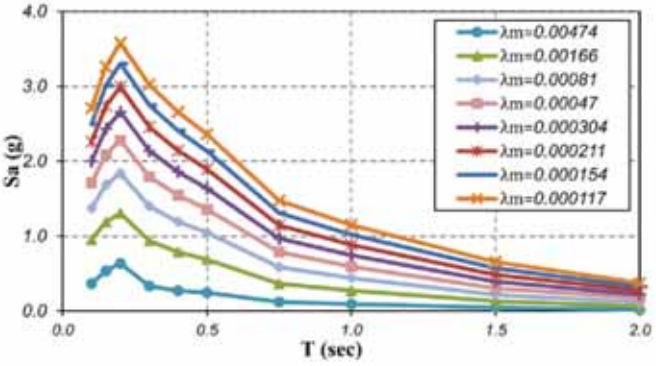
منحنی خطر لرزه‌ای تعیین می‌گردند، به صورت متناوب انجام می‌شود. در ابتدا منحنی خطر به چند بخش مساوی تقسیم می‌شود (حداقل ۸ بخش). مقدار میانه شدت در هر بخش استخراج شده و برای آن شدت لرزه ای، ارزیابی مبتنی بر شدت لرزه ای انجام می‌شود. سپس نتایج به دست آمده در احتمال فراگذشت مربوط به آن شدت لرزه‌ای که با استفاده از منحنی خطر به دست می‌آید، ضرب می‌شود و در نهایت نتایج برای تمامی شدت‌های لرزه‌ای جمع می‌گردد تا منحنی ارزیابی مبتنی بر زمان حاصل شود [۱]. در سطور بعدی نحوه‌ی ارزیابی عملکرد مبتنی بر زمان در حالتی خاص شرح داده می‌شود.

اولین گام در این روش، تعیین منحنی خطر برای سایت مورد نظر می‌باشد. در شکل ۱، منحنی خطر مربوط به شهر تهران آورده شده است.



شکل ۱: منحنی خطر لرزه‌ای برای شهر تهران [۴]

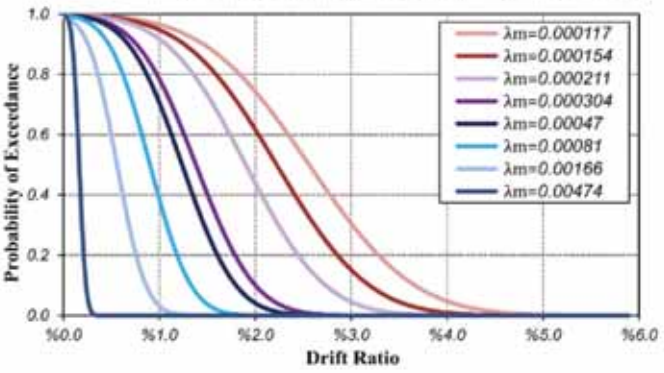
پس از تعیین منحنی خطر، محدوده‌ای از آن که شامل شدت‌هایی با بیشترین خرابی است در نظر گرفته می‌شود. باید محدوده‌ی مذکور را به چند بخش تقسیم نموده و برای هر بخش، شتاب طیفی و احتمال فراگذشت معادل آن تعیین شود. در گام بعدی، طیف طرح برای هر سطح خطر لرزه‌ای رسم می‌گردد. برای ایجاد این طیف باید منحنی مربوط به هر سطح خطر لرزه‌ای برای دوره تناوب‌های مختلف رسم شده و از روی آن، طیف خطر لرزه‌ای به دست آید. نمونه‌ای از این طیف‌ها در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲: طیف طرح مربوط به ۸ سطح خطر لرزه‌ای مختلف [۵]

پس از تعیین طیف خطر لرزه‌ای مربوط به هر سطح خطر، باید مجموعه‌ای از شتاب‌نگاشت‌های زلزله انتخاب شده و برای هر سطح خطر لرزه‌ای مقیاس گردند. لازم به ذکر است که معیار انتخاب تعداد شتاب‌نگاشت‌ها به شکل طیفی بستگی دارد. همچنین نوع گسل، تیپ خاک و فاصله تا گسل از جمله عواملی هستند که می‌توانند در انتخاب شتاب‌نگاشت نقش داشته باشند. پس از انتخاب شتاب نگاشت‌ها، باید آنها را به نحوی مقیاس‌سازی نمود که طیف پاسخ هر رکورد، در محدوده‌ی $0.2T_0$ تا $1.5T_0$، بالاتر از طیف طرح مربوط به آن سطح خطر باشد.

در گام بعدی، سازه تحت رکوردهای انتخاب شده در تمامی سطوح خطر مورد نظر، مورد تحلیل تاریخچه زمانی قرار می‌گیرد و پاسخ هر سطح خطر به دست می‌آید. بنابراین، می‌توان منحنی توزیع احتمال تجمعی پاسخ (جابجایی نسبی) در هر سطح خطر لرزه‌ای را به دست آورد. در شکل۳، این منحنی‌ها برای ۸ سطح خطر رسم شده است. این منحنی‌ها میزان احتمال وقوع مقدار جابجایی نسبی مشخص در طول یک سال را نشان می‌دهند. به عنوان مثال، احتمال اینکه ماکزیمم جابجایی نسبی در طول یک سال از ۳ درصد بیشتر شود، در صورت وقوع زلزله با احتمال رخداد سالیانه ۰۰۰۱۱۷ / ۰، حدود ۰۳ / ۰ است. در حالیکه برای احتمال رخداد سالیانه ۰۰۰۲۱۱ / ۰، این مقدار ۰۵ / ۰ بوده و در صورتی که احتمال رخداد سالیانه ۰۰۰۸۱ / ۰ باشد، مقدار احتمال صفر خواهدبود.



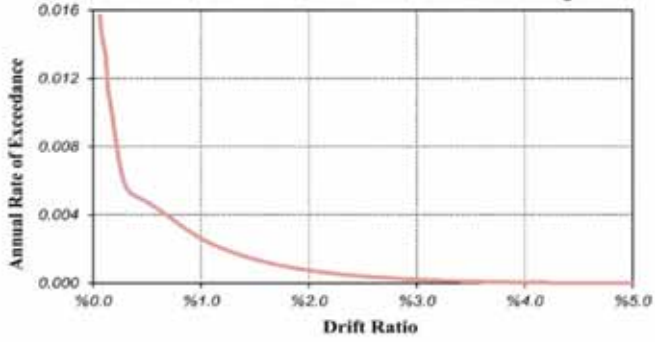
شکل۳: احتمال وقوع پاسخ (جابجایی نسبی) برای ۸ سطح خطر لرزه‌ای

به این ترتیب می‌توان با استفاده از رابطه‌ی(۱)، احتمال فراگذشت سالیانه برای جابجایی نسبی را با توجه به شکل، برای هر ۸ سطح خطر لرزه‌ای به دست آورد.

$$P(EDP>edp)=\int_{\lambda} P\left(EDP>edp|E=e\right)\left|d\lambda(e)\right|=\sum_{i=1}^{n} P\left(EDP>edp|E=e_{i}\right)\Delta\lambda_{i} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، EDP نشان دهنده‌ی پارامتری است که تغییرات آن بررسی می‌شود. در این پژوهش، جابجایی نسبی مد نظر می‌باشد. edp، مقدار پارامتر موردنظر می‌باشد، E معرف پارامتر شدت لرزه‌ای است (به عنوان مثال شتاب طیفی در دوره تناوب اصلی سازه)، e معرف مقدار شدت لرزه‌ای (مثلاً 0.28g) و P(EDP>edp | E=e)، معرف احتمال افزایش EDP از مقدار مشخص edp تحت زلزله با شدت e می‌باشد. (e)، میانگین فراوانی سالیانه شدت لرزه‌ای e بوده و برای تمامی سطوح خطر لرزه‌ای، یعنی مقادیر ، انتگرال گرفته می‌شود [۶]. بدین ترتیب منحنی نرخ وقوع سالیانه برای پارامتر جابجایی نسبی به دست می‌آید. شکل ۴ این مورد را نشان می‌دهد.

شکل ۴ ، وضعیت جابجایی نسبی را در حالات مختلف ارائه می‌دهد. به عنوان مثال، احتمال آنکه در طول یک سال، میزان جابجایی نسبی از ۱٪ بیشتر شود، حدود ۰۰۳ / ۰ می‌باشد [۵]. حال باید این منحنی به نحوی به خسارت تبدیل شود. به این منظور می‌توان از جدول ۱ استفاده نمود.



شکل ۴ : نرخ وقوع سالیانه پارامتر جابجایی نسبی (روش ارزیابی مبتنی بر زمان)

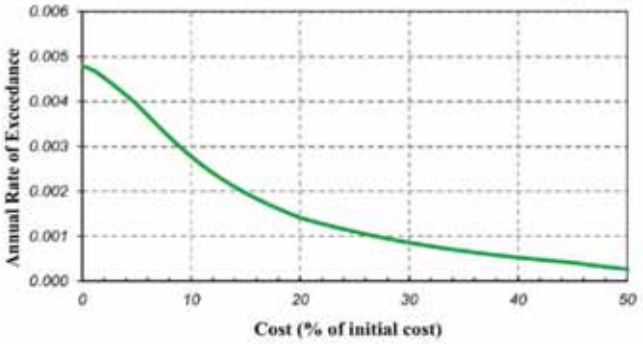
سطوح خرابی	سازوکار خرابی	تغییر مکان نسبی (٪)
DS1 بدون خرابی[1]	پیش از تسلیم	$\Delta \leq 0.6$
DS2 خفیف[2]	پس از تسلیم تا پوسته شدن بتن	$0.6 < \Delta \leq 2.2$
DS3 متوسط[3]	پس از پوسته شدن، کمانش میلگردها	$2.2 < \Delta \leq 3.6$
DS4 شدید[4]	کاهش مقاومت	$3.6 < \Delta \leq 4.9$
DS5 کامل[5]	فروریزش ستون	$4.9 < \Delta$

جدول ۱: حدود تغییرمکان نسبی پایه پل و سطوح خرابی [۷]

جدول ۲: نسبت هزینه‌ی تعمیر در سطوح خرابی مختلف [۸]

سطح خرابی	میانگین نسبت هزینه تعمیر	محدوده‌ی نسبت هزینه‌ی تعمیر
DS1 بدون خرابی	0	0
DS2 خفیف	0.03	0.01 تا 0.03
DS3 متوسط	0.08	0.02 تا 0.15
DS4 شدید	0.25	0.10 تا 0.40
DS5 کامل	1	0.30 تا 1.0

با استفاده از جدول ۲ می‌توان مقادیر جابجایی نسبی را به هزینه خرابی وارده، به صورت درصدی از هزینه‌ی اولیه تبدیل و منحنی جدیدی که در آن نرخ وقوع سالیانه برای هزینه خرابی بیان می‌شود را رسم نمود. نمونه‌ای از این منحنی در شکل ۵ آورده شده‌است.



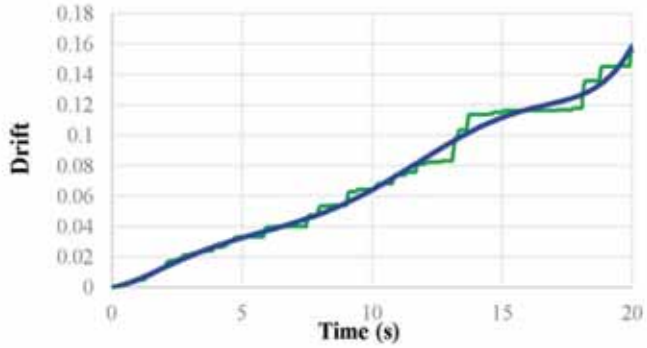
شکل ۰۵: نرخ وقوع سالیانه هزینه خرابی (روش ارزیابی مبتنی بر زمان)

به عنوان مثال، با توجه به شکل ۵ ، احتمال اینکه میزان هزینه سالیانه وارد بر سازه در صورت وقوع زلزله‌های محتمل، از ۱۵٪ قیمت کل سازه بیشتر شود، حدود ۰/۰۰۲ می‌باشد. پارامتر مهمی که از این منحنی حاصل می‌شود، کل هزینه‌ی خرابی محتمل وارد بر سازه در اثر زلزله در طول یک سال می‌باشد. این مقدار برابر با سطح زیر منحنی در شکل ۵ است. این پارامتر از مواردی است که برای مقایسه‌ی گزینه‌های مختلف سازه‌ای، مقاوم‌سازی و در مواردی، برای انتخاب اجزای گزینه‌ی مناسب در اجزای سازه‌ای به کار گرفته می‌شود.

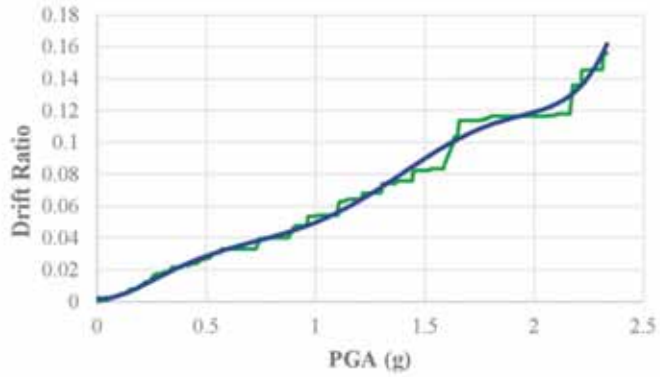
٤. ارزیابی عملکرد لرزه‌ای مبتنی بر زمان به روش زمان‌دوام

در بخش قبلی، نحوه‌ی رسم شکل ۵ که در واقع خروجی روش ارزیابی عملکرد مبتنی بر زمان محسوب می‌شود، شرح داده شد. منحنی مذکور ابزاری مهم در تخمین خسارت‌های لرزه‌ای است. مطابق مراحل توصیف شده در بخش قبل، رسم منحنی به دلیل حجم بالای محاسبات، نیاز به زمانی طولانی دارد زیرا باید حداقل ۱۱ شتاب‌نگاشت، در حداقل ۸ سطح خطر لرزه‌ای، مقیاس شده و سپس سازه تحت آن شتاب نگاشت‌ها تحلیل گردد.

در روش زمان‌دوام، با نگاشت زمان به دوره بازگشت (در بخش بعدی توضیح داده می‌شود)، می‌توان به راحتی منحنی‌های عملکرد زمان‌دوام را به منحنی نرخ وقوع سالیانه‌ی یک پارامتر مشخص (مانند جابجایی بالای ستون‌ها) تبدیل کرد. شکل٦، نمودار پاسخ زمان‌دوام یک پل را نشان می‌دهد. با نگاشت زمان در روش زمان‌دوام به PGA،شکل ۷ به دست خواهد آمد که ارتباط PGA به تغییر مکان نسبی را بیان می‌کند. به عنوان مثال، در صورتی که حداکثر شتاب اعمالی در یک سطح خطر برابر با یک باشد، حداکثر جابجایی نسبی بالای ستون‌ها در پل حدود ۵ درصد خواهدبود.



شکل٦: منحنی پاسخ زمان‌دوام و منحنی هموار شده‌ی آن



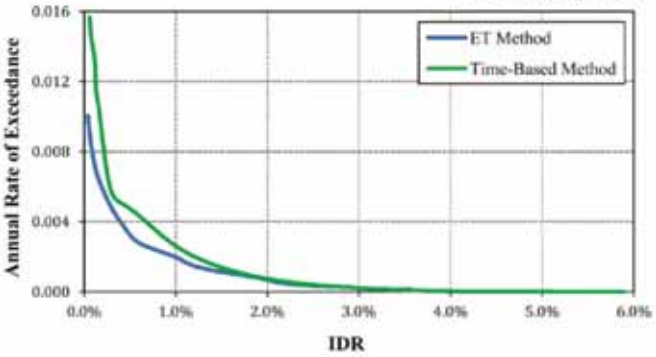
شکل ۷: منحنی پاسخ زمان‌دوام بر حسب PGA

حال با استفاده از شکل ۱ که منحنی خطر شهر تهران می‌باشد، می‌توان هر PGA را به نرخ وقوع سالیانه زلزله تبدیل کرد. بدین ترتیب به راحتی منحنی‌های روش ارزیابی مبتنی بر زمان به دست خواهند آمد.

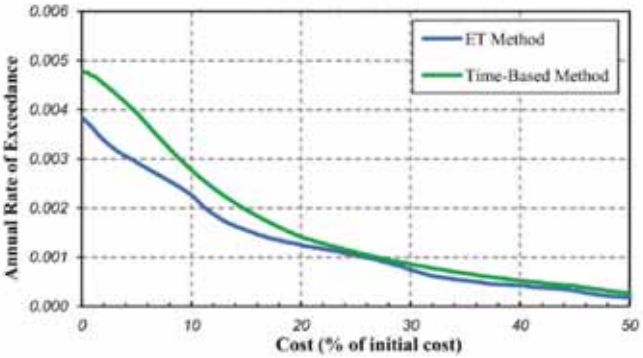
میرزایی [۵]، دو روش فوق یعنی روش ارزیابی عملکرد مبتنی بر زمان و روش ارزیابی عملکرد مبتنی بر زمان با استفاده از زمان‌دوام را بررسی و مقایسه نمود. شکل۸، نرخ فراگذشت سالیانه برای مقادیر مختلف جابجایی نسبی، با استفاده از دو روش مبتنی بر زمان و روش زمان دوام را نشان می‌دهد. مطابق شکل، دو منحنی انطباق مناسبی دارند. به خصوص در مقادیر جابجایی نسبی بیش از ۱٪، این انطباق به وضوح قابل مشاهده است.

می‌توان منحنی حاصل از روش زمان‌دوام را نیز با استفاده از جدول ۲، به منحنی

نرخ وقوع سالیانه‌ی خرابی تبدیل نمود. میرزایی در مرجع شماره [۵]، این موضوع را هم مورد بررسی قرارداده است. شکل ۹ به مقایسه‌ی نرخ وقوع سالیانه‌ی هزینه‌ی خرابی در دو روش مبتنی بر زمان و زمان‌دوام می‌پردازد. مطابق این شکل، اگرچه منحنی حاصل از روش زمان‌دوام مقادیر کمتری نسبت به روش مبتنی بر زمان دارد اما به علت حجم بالای محاسبات در روش مبتنی بر زمان، استفاده از روش زمان‌دوام، به ویژه در حالتی که هدف مقایسه‌ی چند گزینه‌ی مختلف است، قابل قبول می‌باشد. طبق بررسی‌های انجام شده، برای متوسط هزینه‌ی سالیانه، خطای روش زمان‌دوام نسبت به روش مبتنی بر زمان برابر با ۱۸/۸۰ درصد می‌باشد که مقدار قابل قبولی است.



شکل۸: نرخ فراگذشت سالیانه پارامتر جابجایی نسبی به دو روش مبتنی بر زمان و روش زمان‌دوام [۵]



شکل ۹: نرخ وقوع سالیانه هزینه‌ی خرابی به دست آمده از دو روش مبتنی بر زمان و روش زمان‌دوام [۵]

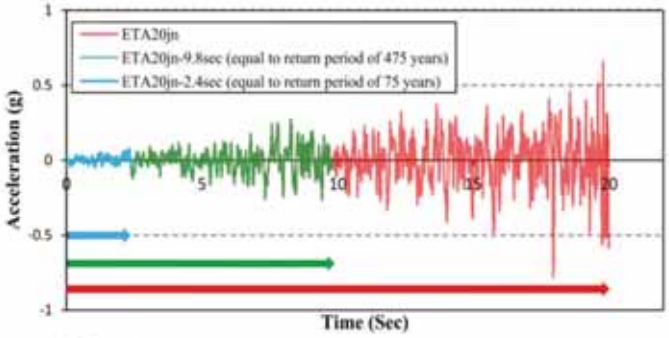
۵.نگاشت زمان به دوره بازگشت

همانطور که قبلاً بیان شد، در روش زمان‌دوام، از توابع شتاب فزاینده‌ای برای تحلیل دینامیکی سازه‌ها استفاده می‌شود. در این توابع با افزایش زمان، دامنه‌ی تحریک افزایش می‌یابد که این افزایش به صورت خطی می‌باشد. لذا در این توابع، شتاب هر لحظه معادل یک شدت لرزه‌ای می‌باشد. به بیانی دیگر، با توجه به اینکه شتاب اعمالی به سازه با گذشت زمان افزایش می‌یابد، اگر شتاب‌نگاشت زمان‌دوام را در هر لحظه زمانی قطع نماییم، می‌توان رکورد اعمالی از زمان صفر تا زمان مذکور را معادل با یک رکورد زلزله فرض کرد. این موضوع به طور شماتیک در شکل ۱۰ نشان داده شده است. مطابق این شکل، با قطع تابع شتاب زمان‌دوام در لحظه‌ی ۲/٤ ثانیه، شتاب‌نگاشتی معادل یک زلزله با دوره بازگشت ۷۵ سال به دست می‌آید. همچنین در صورتی که تابع شتاب در زمان ۹/۸ ثانیه قطع گردد، می‌توان فرض نمود که از زلزله با دوره بازگشت ٤۷۵ سال استفاده شده است.

استفاده از زمان به عنوان یک پارامتر معرف شدت لرزه‌ای، متداول نمی‌باشد. بنابراین تبدیل زمان به یک پارامتر متداول برای معرفی شدت لرزه‌ای یک زلزله، می‌تواند موجب گسترش کاربردهای روش زمان‌دوام گردد [۹].

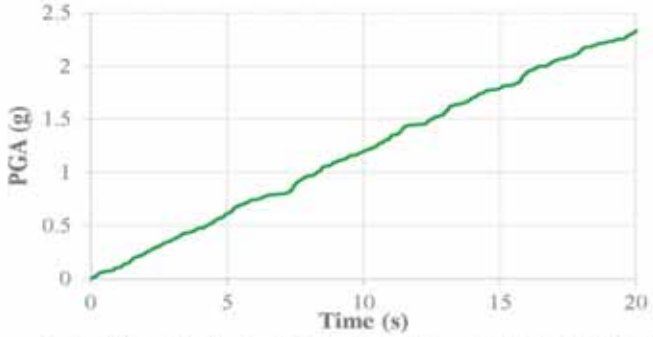
برای نگاشت زمان به دوره بازگشت زلزله در روش زمان‌دوام، نیاز به استفاده از یک یا چند پارامتر میانی می‌باشد. پارامتر میانی ذکر شده باید قابلیت ایجاد ارتباط بین زمان در روش زمان‌دوام و دوره بازگشت را داشته باشد. پس از بررسی‌های انجام شده با پارامترهای مختلف، در نهایت از پارامتر S_a به عنوان شاخص تبدیل استفاده گردید. بدین صورت که طیف طراحی در زمان‌های مختلف در روش زمان‌دوام به دست آمد و زمانی که طیف آن با طیف دوره بازگشت مورد نظر انطباق داشت، تعیین گردید. این روند می‌تواند به دو صورت انجام پذیرد. در روش نخست، انطباق دو طیف مذکور در پریود سازه انجام می‌شود. یعنی در ابتدا مقدار شتاب طیفی در پریود سازه از روی طیف مربوط به دوره بازگشت زلزله خوانده می‌شود و سپس طیف در هر لحظه از زمان در روش زمان‌دوام بررسی می‌گردد. زمانیکه شتاب طیفی در طیف متناظر زمان‌دوام، در پریود سازه‌ی مشخص شده، با شتاب طیفی در زلزله با دوره بازگشت مورد نظر برابر باشد، به عنوان زمان متناظر (ETT) با دوره بازگشت زلزله‌ی مورد نظر تعیین می‌شود. واضح است که این مقدار برای دوره تناوب‌های مختلف متفاوت می‌باشد. روش دوم، انطباق دو طیف در یک محدوده‌ی پریودی می‌باشد. این روش به منظور کاهش خطای ناشی از ناهمسانی دامنه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این تحقیق، از نتایج مربوط به پژوهش میرزایی که با استفاده از روش دوم در محدوده‌ی ۰/۲ تا ۱/۵ برابر پریود سازه می‌باشد استفاده گردید [۵]. تأکید می‌شود که رابطه‌ی تبدیل زمان به دوره بازگشت، به پریود سازه وابستگی زیادی دارد. به عبارت دیگر در یک زلزله با دوره بازگشت مشخص، برای سازه‌های با دوره تناوب‌های مختلف، زمان معادل در روش زمان‌دوام متفاوت می‌باشد.



شکل ۱۰: مفهوم تبدیل زمان در روش زمان‌دوام به دوره بازگشت [۵]

با توجه به توضیحات فوق، برای مجموعه توابع شتاب مورد استفاده در این پژوهش، در هر مدل پل با پریود مشخص، روند فوق انجام می‌شود. به عنوان مثال برای پل با پریود ۰/۷ ثانیه، با توجه به روند ذکرشده در بالا، زمان معادل در روش زمان‌دوام برای هر مقداری از حداکثر شتاب زمین (PGA) به دست می‌آید. شکل ۱۱ این روند را برای هر لحظه از توابع شتاب زمان دوام (سری ETA20in) در سازه با پریود ۰/۷ ثانیه نشان می‌دهد. در واقع بر اساس این شکل می‌توان برای هر مقدار PGA، زمان متناظر آن در تابع شتاب زمان‌دوام را برای پل با دوره تناوب ۰/۷ ثانیه به دست آورد.



شکل ۱۱: تبدیل زمان در روش زمان‌دوام به PGA برای سازه با پریود ۰/۷ ثانیه در طول زمان

۶.جمع‌بندی

با توجه به توضیحات و جداول ارائه شده، می‌توان به طور خلاصه نکات زیر را بیان نمود:

- روش زمان‌دوام، روشی برای تحلیل دینامیکی برای سازه‌های مختلف در حوزه‌های خطی و غیرخطی با امکان تحلیل در شدت‌های مختلف لرزه‌ای می‌باشد. در این روش، یک مجموعه تابع شتاب همواره فزاینده‌ی مصنوعی که بر اساس طیف آیین‌نامه‌های مختلف تولید شده‌اند، به سازه اعمال می‌گردد و پاسخ سازه در حالات و شدت‌های مختلف قابل تعیین است.
- در تحلیل عملکرد لرزه‌ای، به محاسبه‌ی پاسخ در شدت‌های لرزه‌ای مختلف نیاز است. در روش زمان‌دوام می‌توان با یک‌بار تحلیل، به نموداری پیوسته برای تعیین پاسخ معادل برای تمامی شدت‌های لرزه‌ای مورد نظر دست یافت. این در حالی است که در سایر روش‌های مشابه مانند روش IDA، برای هر شدت لرزه‌ای نیاز به یک تحلیل مجزا می‌باشد.
- با توجه به آنکه خروجی تحلیل زمان‌دوام نموداری پیوسته است و تمامی شدت‌های لرزه‌ای را شامل می‌شود، می‌توان در محاسبه‌ی هزینه‌های لرزه‌ای، شدت‌های بیشتری را در نظر گرفت. در حالی که در روش IDA به دلیل حجم بالای محاسبات، به طور معمول حداکثر ۸ سطح خطر برای تحلیل‌ها در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب می‌توان دقت بسیار خوبی در تعیین هزینه‌ها انتظار داشت.
- در توابع شتاب زمان‌دوام، زمان مفهومی فراتر از زمان نسبت به رکوردهای زلزله‌ی معمول می‌باشد. به عبارت دیگر زمان در روش زمان‌دوام، مفهوم شدت را هم دارد و هر چه زمان در تابع شتاب زمان‌دوام بیشتر باشد، شدت تابع شتاب هم افزایش می‌یابد. به همین صورت می‌توان به راحتی زمان را به شدت زلزله تبدیل نمود. بنابراین زمان در هر لحظه از تابع شتاب زمان‌دوام به زلزله‌ای به دوره بازگشت معادل آن قابل تبدیل است.

۷.مراجع

[1]Applied Technology Council, "Guidelines for Seismic Performance Assessment of Buildings (ATC-58)," 2011.

[2]D. I. Carmona, "Quantifying the Life Cycle Benefits of Performance-Based Design in Sustainable Design," 2012.

[3]A. Whittaker and Y. N. Huang, "Next-generation performance based earthquake engineering *," no. December, pp. 4957, 2007.

[4]Y. Gholipour, Y. Bozorgnia, and M. Rahnama, "Probabilistic Seismic Hazard Analysis Phase I-Greater Tehran Regions," Tehran.

[5]A. Mirzaee, "Application of Endurance Time Method in Performance-Based Design," Sharif University of Technology, 2013.

[6]A. S. Whittaker, R. O. Hamburger, and Y. Huang, "Building-Specific Seismic Loss Assessment."

[7]K. Solberg, J. B. Mander, and R. P. Dhakal, "A rapid financial seismic risk assessment methodology with application to bridge piers."

[8]T. Manual, "Hazus MH 2.1."

[9]Amin Mirzaee, H. E. Estekanchi, and A. Vafai, "Improved methodology for endurance time analysis: From time to seismic hazard return period," Sci. Iran., vol. 19, no. 5, pp. 11801187, 2012.

بررسی امکان استفاده از بتن گوگردی به عنوان مصالح جایگزین مقاوم به خوردگی در شبکه انتقال فاضلاب

● قربانعلی دزواره
دکترای مهندسی عمران محیط زیست

چکیده

خوردگی، خسارت اقتصادی و اکولوژیکی عظیمی را در سراسر دنیا ایجاد می‌کند که سالانه بالغ بر میلیاردها دلار است. در این پدیده، فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی دخیل هستند و میکرو ارگانیسم‌ها اساساً بر روی سینیتیک‌های خوردگی اثر می‌گذارند ولی تأثیر آنها در اکثر منابع مورد توجه شایسته قرار نمی‌گیرد. هدف اصلی این مقاله، بررسی رفتار خوردگی بیولوژیکی و شیمیایی لوله‌های ساخته شده از بتن گوگردی و بتن معمولی جهت انتقال فاضلاب، تحت شرایط زیست محیطی و بیولوژیکی فاضلاب می‌باشد. به همین منظور ضمن ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی لوله‌های ساخته شده از بتن گوگردی، نمونه‌هایی از بتن معمولی نیز در کنار آنها به عنوان نمونه شاهد ساخته شد. نهایتاً ضمن بررسی تک تک عوامل خوردگی با ماهیت بیولوژیکی و شیمیایی به طور جداگانه و همزمان در محیط آزمایشگاه، لوله‌های ساخته شده از بتن گوگردی و بتن معمولی و همچنین نمونه‌های مکعبی با ابعاد استاندارد، در محیط ورودی تصفیه خانه فاضلاب قرار گرفت تا ضمن مقایسه مقاومت خوردگی هر دو نوع بتن، صحت سنجی آزمایشات نیز صورت پذیرد.

از جمله یافته های این تحقیق این است که با درنظر داشتن جمیع جهات از جمله هزینه های تولید و عمل آوری، سرعت اجرای پروژه در محیط های اشباع از آب، مدیریت پسماند عظیم گوگردی در جنوب کشور حاصل از تصفیه گاز ترش، صرفه جویی فراوان در مصرف آب و تولید بتن مقاوم در برابر عوامل محیطی فاضلاب و مؤثر بر خوردگی، بتن گوگردی با اختلاف زیاد نسبت به بتن معمولی قابل توصیه می باشد.

کلمات کلیدی:
بتن گوگردی، خوردگی، لوله انتقال فاضلاب، عوامل زیست محیطی

۱- مقدمه

بتن گوگردی، مصالح نسبتاً جدیدی است. گرچه ظاهر آن در نهایت شبیه بتن معمولی می‌باشد، اما ساخت، حمل، کاربرد و آزمایش آن متفاوت است. بتن گوگردی و کاربرد آن در کشور ما پدیده‌ای جدید و تقریبا بی‌سابقه است . در این بتن که به بتن بدون نیاز به آب و سیمان نیز شناخته می‌شود و برای اولین‌بار توسط سازمان ناسا برای عملیات عمرانی در فضا معرفی و مورد استفاده قرار گرفت، به‌جای سیمان پرتلند از گوگرد استفاده می‌شود. این بتن دارای مزایای بسیاری از نظر مقاومت در برابر اسیدها و مواد خورنده، قابلیت ذوب چندباره و مصرف مجدد، مقاومت‌های فشاری، خمشی، کششی و ... است که مصرف آن را به جای بتن سیمانی، در پالایشگاه‌های نفت و گاز و کارخانه‌های پتروشیمی و تصفیه فلزات کاملا توجیه می‌کند. در این تحقیق، مشخصات فنی، طرز تهیه و شیوه کاربرد آن در پروژه‌های عمرانی به‌خصوص در تولید خطوط لوله انتقال فاضلاب و تأثیر شرایط محیطی فاضلاب بر خوردگی آن معرفی شده است. در حال حاضر در ده‌ها شهر و کشور، پروژه‌های جمع‌آوری فاضلاب در حال اجرا است و تا کنون بیش از ۱۰۰۰۰ کیلومتر شبکه جمع‌آوری فاضلاب احداث گردیده‌است و بر اساس برآوردهای صورت گرفته، تا پایان برنامه توسعه چشم‌انداز حدود ۵۰۰۰۰ کیلومتر به طول لوله‌های موجود اضافه خواهد شد.

در حدود ۳۰ کارخانه فعال لوله‌زنی بتنی، با ظرفیت سالانه ۳۰۰۰ کیلومتر، آماده تهیه لوله‌های مورد نیاز طرح‌های فاضلاب هستند که لوله‌های با قطر ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ میلیمتر را تولید می‌کنند. لوله‌هایی که در قالب طرح‌های موجود به کار می‌روند از جنس بتن هستند. لوله‌های بتنی به‌ویژه در مناطق گرم، در معرض خوردگی میکروبی (Microbial Influenced Corrosion) قرار دارند. در تمام لوله‌های بتنی انتقال فاضلاب، مشکل خوردگی تاج بالایی لوله به علت وجود و تجمع بخارات اسید سولفوریک و گاز H_2S و همچنین خوردگی در پایین دست خطوط تحت فشار و خطوط بالابر و در محل‌هایی که مواد معلق ته‌نشین شده‌اند و یا جایی که توربولانس شدید بوده و یا از تهویه ضعیفی برخوردار بوده‌اند گزارش شده‌است که این خوردگی‌ها، تمام سطح لوله (حتی طرفین آن) را در بر می‌گیرد. خوردگی، فرآیندی است که در سطح بینابینی رخ می دهد و به عوامل حاکم بر آن مانند pH ، پتانسیل اکسیداسیون – احیا، غلظت اکسیژن و املاح مربوط می‌شود. میکروارگانیسم‌های احیاکننده گوگرد (Sulfur Oxidizing Bacteria)، تمایل به تشکیل لایه زیستی یا لایه لزج روی سطح

بینابینی دارند و اکسیژن مورد نیاز خود را از احیا ترکیبات سولفات و سولفیدی به دست می‌آورند (لازم به ذکر است که از این باکتری‌ها در بیولیچینگ، برای استحصال ترکیبات مختلف با گوگرد در معادن از جمله مس نیز استفاده می‌شود). به منظور جلوگیری از خوردگی در لوله‌های انتقال فاضلاب، روش‌های متعددی پیشنهاد شده که بعضاً اندمان پایینی داشته و یا پرهزینه می‌باشند.

از آنجایی که خوردگی لوله‌های بتنی، یک معضل بزرگ و از علل مهم تخریب آن و نشت فاضلاب به منابع آبی زیرزمینی محسوب می‌شود، بررسی پوشش‌های لوله‌های بتنی فاضلابی، انتخاب پوشش مناسب و یا تغییر در ترکیبات آن جهت جلوگیری از این نوع عوارض، هدف نهایی پروژه است. با تعیین بتن مناسب، می‌توان از روند خوردگی‌های مخرب که باعث ضرر و زیان زیاد می‌شود جلوگیری نموده و متعاقب آن، افزایش طول عمر مفید لوله‌های بتنی فاضلابی را تا حد چشمگیری بالا برد. هدف این پژوهش، انجام آزمایشاتی به منظور بررسی و تعیین اثر پارامترهای مختلف در رفتار خوردگی بتن سولفوره به عنوان ماده سازنده لوله‌های انتقال فاضلاب می‌باشد. مهمترین و اثرگذارترین متغیرهایی که به آنها پرداخته‌شده است، عبارتند از:

۱ - پارامترهای مؤثر در خوردگی شیمیایی (شامل: ۱- pH، ۲-زمان)

۲ - پارامترهای مؤثر در خوردگی بیولوژیکی (شامل: ۱- باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد شامل Thiobacillus، Thiodendran، Beggiatoa و Sulfolobus، که از بین گونه‌های فوق‌الذکر، Thiobacillus در خوردگی بیولوژیکی لوله‌های بتنی فاضلاب نقش مهمی دارد و سویه Thiooxidans آن دارای اهمیت است. Thiobacillus Thiooxidans محیط اسیدی را ترجیح می‌دهد و در فاضلاب روها چنین محیطی برای آن فراهم است، ۲-زمان)

تحقیقات زیادی به واسطه اهمیت دوام لوله‌های بتنی فاضلاب رو در دنیا انجام گرفته است. در سال ۱۹۳۰، آقایان Parker در استرالیا و Pomeroy در آمریکا به منظور تعیین سرعت خوردگی و تخمین عمر مفید لوله های بتنی فاضلاب رو، تحقیقات وسیعی را انجام دادند. در سال ۱۹۷۰، آقایان Meyer و Ledbetter، تأثیر نحوه عمل‌آوری بتن در جلوگیری از خوردگی لوله‌های بتنی را به طور خاص بررسی نمودند.

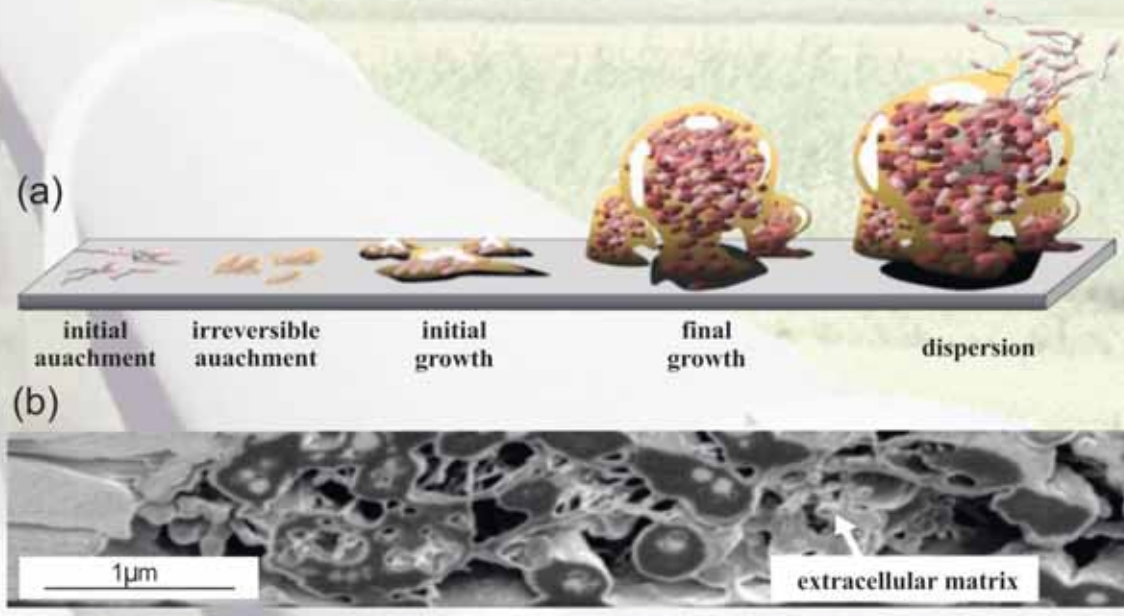
در سال ۱۹۹۷، آقایان Daczko و Johnson، ضمن بررسی تأثیر محیط‌های اسیدی متفاوت، نقش مواد مضاف پلیمری را در کنترل خوردگی لوله‌های فاضلاب روی بتنی تحقیق کردند.

بر اساس مشاهدات عینی در شبکه فاضلاب اصفهان، خوردگی در لوله‌های فاضلاب روی بتنی، یکنواخت نیست و به واسطه جریان هوا و جاری شدن اسید سولفوریک از تاج به سمت جداره‌های طرفین لوله، قسمت مجاور سطح فاضلاب با خوردگی عمیق‌تری مواجه می‌باشد. لذا از لحاظ سازه‌ای، اکثر گسیختگی‌ها به واسطه عدم پایداری در این قسمت است.

در این مقاله، به طور خاص به بررسی کفایت و دوام مصالح بتن گوگردی در برابر انواع خوردگی در محیط فاضلابی پرداخته خواهد شد و مقایسات همه جانبه با بتن سیمانی صورت خواهد پذیرفت.

۲- روش تحقیق

خوردگی بتن تحت اثر فاضلاب، یک فرایند خطی نسبت به زمان نیست. پیش از آنکه خوردگی قابل مشاهده آشکار شود، یک دورهٔ اولیه وجود دارد که در آن جمعیت میکروبی کم و زیاد شده و خواص شیمیایی و فیزیکی بتن به‌طور قابل توجهی تغییر می‌کنند. هنگامی که از دست رفتگی توده آغاز می‌شود، میزان خوردگی خطی باقی نمی‌ماند، زیرا شرایط محیطی (شیمی فاضلاب، pH، دما) و خواص بتن (ویژگی‌های لایه خوردگی، جمعیت میکروبی، شیمی بتن و تخلخل) به تغییر و تحول خود ادامه می‌دهند. غیرخطی‌بودن فرآیند خوردگی، یک مشکل مهم برای محققی است که تلاش می‌کند عمر باقیمانده لوله‌های فاضلاب را پیش‌بینی کند . لذا توسعه یک مدل دقیق‌تر از فرآیند خوردگی مطلوب خواهد بود؛ مدلی که بتواند نرخ خوردگی لحظه‌ای را به عنوان تابعی از زمان در طول دوره عمر بهره‌برداری لوله فاضلاب تخمین بزند.



مراحل کلی انجام کار به‌صورت زیر می‌باشد:

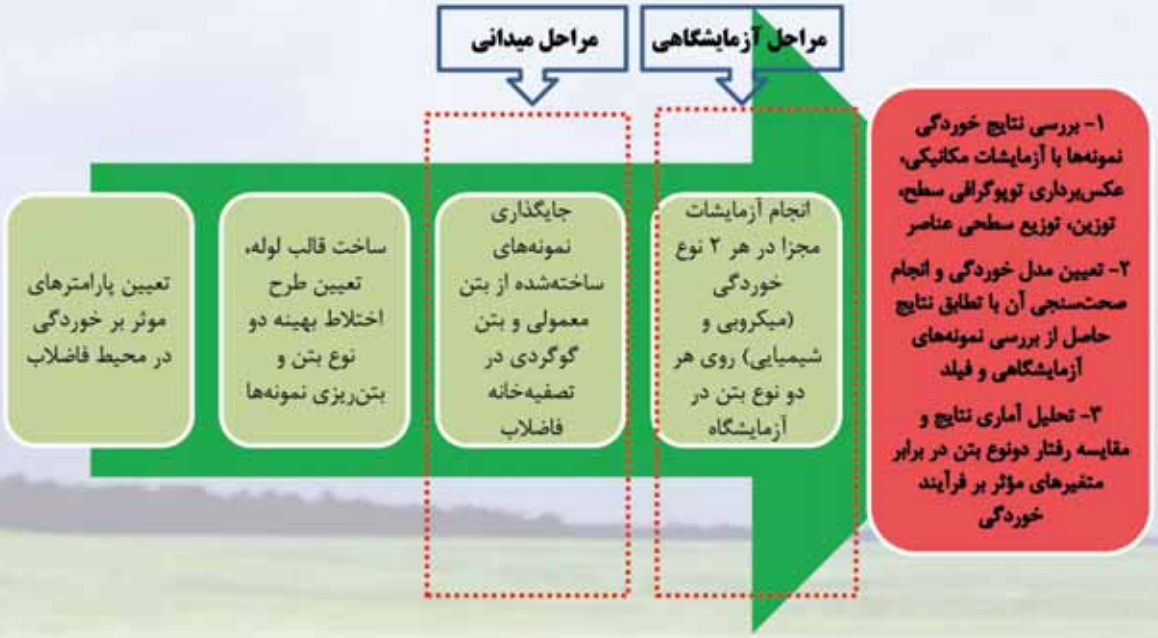
۱. کار میدانی

۲. کار آزمایشگاهی

۳. کار مدل‌سازی

در انجام پژوهش میدانی، ۱۰ عدد لوله نیم‌متری به قطر ۲۵ سانتیمتر و ضخامت ۳ سانتیمتر و همچنین ۱۰ عدد بلوک مکعبی ۱۰×۱۰ سانتیمتر در محل ورودی یک تصفیه‌خانه فاضلاب قرار خواهند گرفت و پس از قرارگیری در محل، به فواصل زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماه، هر بار ۲ عدد لوله و ۲ عدد بلوک مکعبی، جهت بررسی تغییرات از محل خارج می‌گردد.

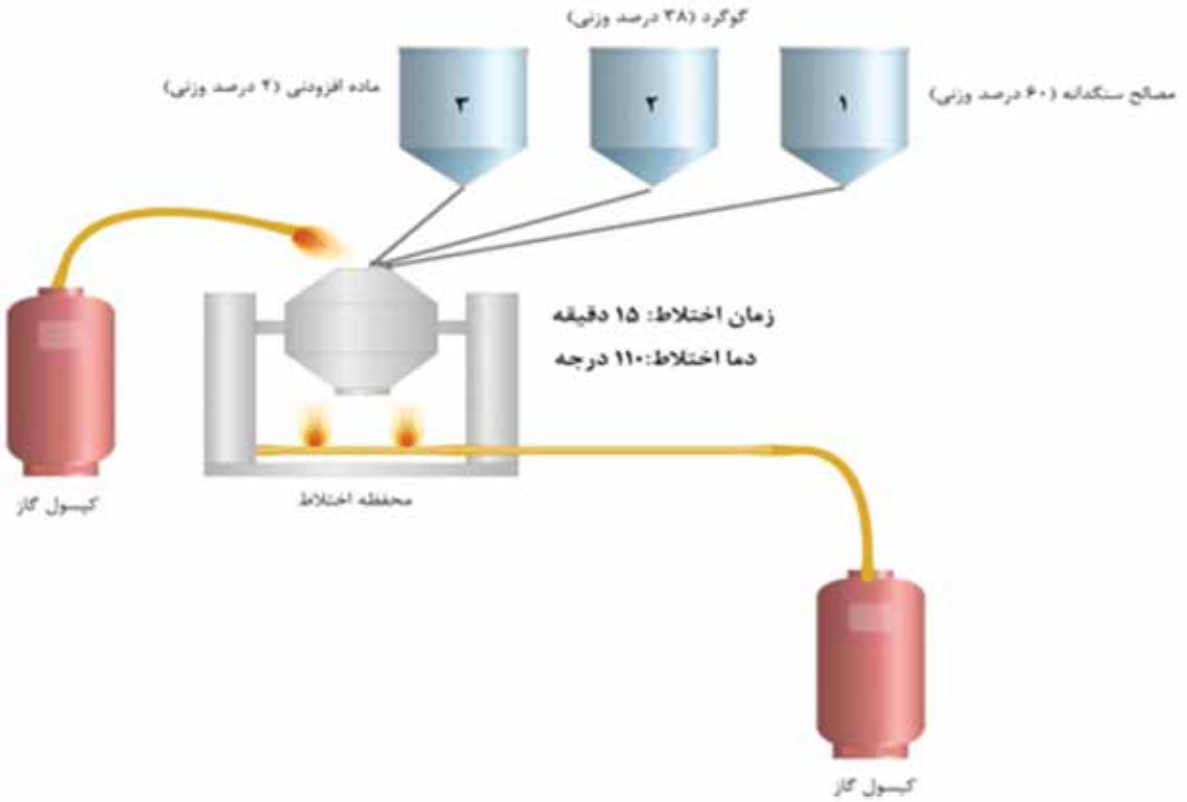
جهت انجام صحت سنجی آزمایشات انجام شده روی نمونه‌ها و تعیین دقیق تأثیر مجزا و برهم کنشی هر ۳ نوع خوردگی شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی، مراحل کار به شرح شکل ۱ صورت خواهد پذیرفت و تست‌های ارزیابی خوردگی در شکل ۲ نشان داده شده است:



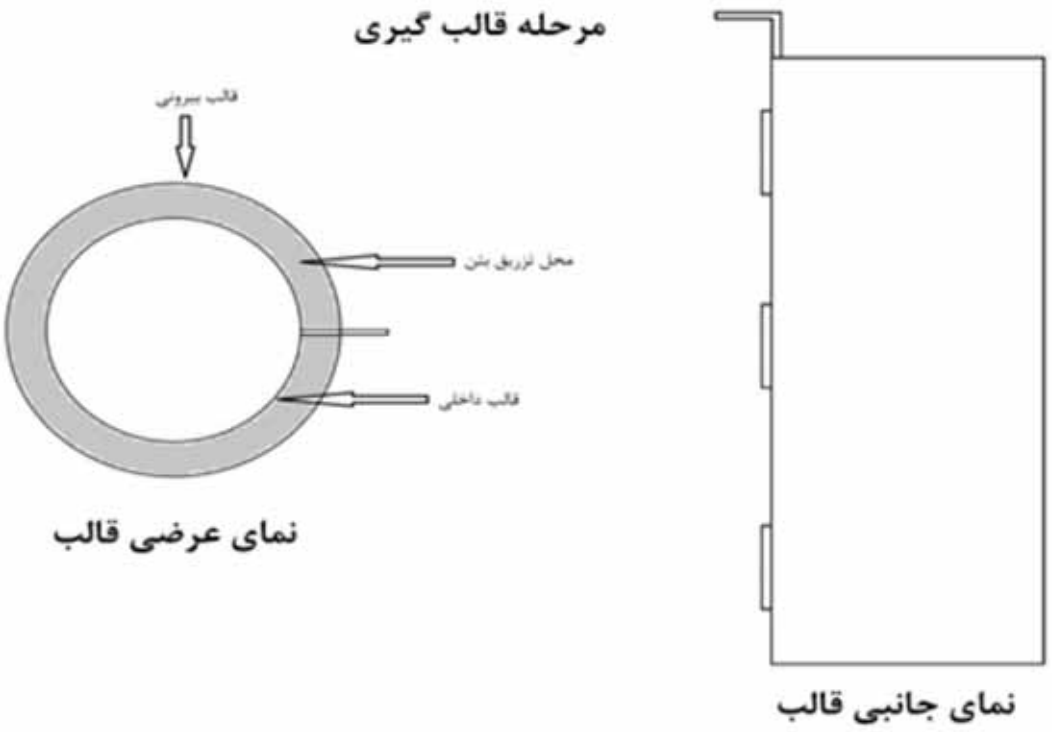
شکل ۱: روش کلی انجام کار

شکل ۲: انواع تست‌های بررسی خوردگی

مراحل شماتیک اجرای پروژه و ساخت لوله در شکل های ۳ و ۴ نشان داده شده است:



شکل ۳: مرحله آماده‌سازی بتن گوگردی



تصاویر مراحل اجرایی نیز به شرح زیر می‌باشد:

۳- نتیجه‌گیری

در مراحل ساخت قالب و نمونه‌ها، نتایج بسیار ارزشمندی مبنی بر طرح اختلاط بهینه جهت ساخت بتن گوگردی، دمای بهینه ساخت مصالح، روش مناسب گرم کردن مصالح و بتن که از آتش‌سوزی و تولید گاز سمی جلوگیری شود، قالب‌ریزی مناسب و بازکردن قالب، مقاوم‌سازی نمونه‌ها و نهایتاً آزمایشاتی که روی این نمونه‌ها به منظور تعیین میزان خوردگی می‌توان انجام داد، حاصل شد.

این آزمایشات به طور عمده شامل آزمایشات دوام و عکسبرداری توپوگرافی سطح BSE و SEM می‌باشد. پس از انجام آزمایشات و تحلیل‌های صورت گرفته در خصوص بررسی تاثیر عوامل محیطی فاضلاب بر خوردگی لوله‌های انتقال فاضلاب ساخته‌شده از بتن گوگردی در مقایسه با بتن سیمانی (بتن معمولی)، می‌توان اینگونه جمع‌بندی نمود که عامل اصلی تخریب لوله‌های ساخته‌شده از بتن سیمانی، در محیط فاضلابی و یا محیط آزمایشگاهی شبیه‌سازی شده، خوردگی شیمیایی حاصل از واکنش‌دهی اسیدسولفوریک چگالیده شده موجود در گازهای فاضلابی و یا بایوژنیک اسید حاصل از فعالیت‌های میکروبی توسط باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد بوده و به تدریج با انحلال پلیمر سیمانی و تبدیل آن به اترینگیت و گچ، خوردگی نمونه‌های بتنی و تاج لوله رخ می‌دهد. در این بین، بسته به شدت اسیدی بودن محیط، فاکتورهای کاهش وزن، کاهش مقاومت فشاری، جذب آب، تغییرات عناصر سطح بتن و شاخص نسبت تخلخل سطحی تغییر کرده و می‌توان با استفاده از داده‌های حاصل از آزمایشات هرکدام و توسعه مدل عددی، به پیش‌بینی رفتار صفت مذکور در بلند مدت پرداخت. با بررسی انجام شده روی مدل‌ها و درنظر داشتن مشخصات هریک، الگوریتم برنامه‌ریزی چندوجهی (MEP) با بالاترین دقت انتخاب شد. نتایج حاصل از تصاویر میکروسکوپ الکترونی نیز مؤید این نتایج بود.

این درحالی است که در شرایط کاملا مشابه آزمایشگاهی و میدانی، بتن گوگردی، مقاومت بسیار بالا در برابر خوردگی شیمیایی از خود نشان داد. تنها عامل بروز ضعف جزئی در آن و آن هم در پایلوت بیولوژیکی، متابولیسم گوگرد موجود در لایه‌ی سطحی این بتن و نفوذ عمق باکتری‌ها و بروز ترک در اثر گسیختگی پیوند گوگرد با مصالح سنگدانه‌ای بود. در این شرایط، فاکتورهای مختلف کاهش وزن، کاهش مقاومت فشاری، جذب آب، تغییرات عناصر سطح بتن و شاخص نسبت تخلخل سطحی، تغییر قابل ملاحظه‌ای نداشت و در صورت گذشت زمان با آهنگ کندتری پیش‌روی نمود. در مدل‌سازی این نتایج برای این نوع بتن، همچنان مدل الگوریتم برنامه‌ریزی چندوجهی (MEP) با بالاترین دقت انتخاب شد. لازم به ذکر است در شرایط واقعی و وجود رقابت میکروبی بین باکتری‌ها و نامساعد بودن شرایط خاص برای باکتری تایو باسیلوس تایو اکسیدانس، این اثر مخرب به مراتب کمتر بوده و قابل اغماض می‌باشد.

در نهایت و در جمع‌بندی تحقیق حاضر می‌توان گفت با درنظر داشتن جمیع جهات از جمله هزینه‌های تولید و عمل‌آوری، سرعت اجرای پروژه در محیط‌های اشباع از آب، مدیریت پسماند عظیم گوگردی در جنوب کشور حاصل از تصفیه گاز ترش،

صرفه‌جویی فراوان در مصـــــــرف آب و تولید بتن مقاوم در برابر عوامل محیطی فاضلاب و مؤثر بر خوردگی، بتن گوگردی با اختلاف زیاد نســـــبت به بتن معمولی قابل توصیه می‌باشد.

٤- مراجع

۱-بتن سولفوره، رساله کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، صفحه ۱۵۳، ۱۳۷۰.

۲-بررسی دوام لوله‌های بتنی فاضلاب و ارائه راه‌حل مناسب جهت افزایش طول عمر آنها، رضا خدادادی، مقالات عمران

۳-روش‌های پیشـــــگیری از خوردگی لوله‌های بتنی شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب، کاظم ندافی، مقالات عمران

4- Alexander, Mark, Alexandra Bertron, and Nele De Belie. *Performance of cement-based materials in aggressive aqueous environments*. Springer, 2013.

5- Grengg, C., et al. "Microbiologically induced concrete corrosion: A case study from a combined sewer network." *Cement and Concrete Research* 77 (2015): 16-25.

6- Nielsen, Asbjørn Haaning, et al. "Sulfide–iron interactions in domestic wastewater from a gravity sewer." *Water research* 39.12 (2005): 2747-2755.

7- Islander, Robert L., et al. "Microbial ecology of crown corrosion in sewers." *Journal of Environmental Engineering* 117.6 (1991): 751-770.

8- Jensen, Henriette Stokbro, et al. "Growth kinetics of hydrogen sulfide oxidizing bacteria in corroded concrete from sewers." *Journal of hazardous materials* 189.3 (2011): 685-691.

9- Joseph, Antony P., et al. "Surface neutralization and H 2 S oxidation at early stages of sewer corrosion: Influence of temperature, relative humidity and H 2 S concentration." *Water research* 46.13 (2012): 4235-4245.

10- Grengg, C., et al. "Stable Isotope Signatures within Microbial Induced Concrete Corrosion: A Field Study." *Procedia Earth and Planetary Science* 13 (2015): 68-71.

11-O'Connell, M., Ciaran McNally, and Mark G. Richardson. "Biochemical attack on concrete in wastewater applications: A state of the art review." *Cement and Concrete Composites* 32.7 (2010): 479-485.

12-Satoh, Hisashi, et al. "Microbial community structures and in situ sulfate-reducing and sulfur-oxidizing activities in biofilms developed on mortar specimens in a corroded sewer system." *Water research* 43.18 (2009): 4729-4739.

13-Yuan, Haifeng, et al. "Degradation modelling of concrete submitted to sulfuric acid attack." *Cement and Concrete Research* 53 (2013): 267-277.

14- ACI Committee 548. "Guide for Mixing and Placing Sulfur Concrete in Construction." *ACI Materials Journal* 85.4 (1988).

15- Yuan, R. L., and W. F. Chen. "Behavior of sulfur-infiltrated Concrete in Sodium Chloride Solution." *ACI Special Publication* 65 (1980).

16-Vroom, Alan H. "Sulfur concrete goes global." *Concrete international* 20.1 (1998): 68-71.

17-Zhang, Lehua, et al. "Chemical and biological technologies for hydrogen sulfide emission control in sewer systems: a review." *Water research* 42.1 (2008): 1-12.

18-Wells, Tony, Robert E. Melchers, and Phil Bond. "Factors involved in the long term corrosion of concrete sewers." *Australasian corrosion association proceedings of corrosion and prevention, Coffs Harbour, Australia* 11 (2009).

19-Vollertsen, Jes, et al. "Corrosion of concrete sewers—The kinetics of hydrogen sulfide oxidation." *Science of the total environment* 394.1 (2008): 162-170.

20-Vincke, Elke, Nico Boon, and Willy Verstraete. "Analysis of the microbial communities on corroded concrete sewer pipes–a case study." *Applied Microbiology and Biotechnology* 57.5-6 (2001): 776-785.

21-Mori, Tadahiro, et al. "Interactions of nutrients, moisture and pH on microbial corrosion of concrete sewer pipes." *Water Research* 26.1 (1992): 29-37.

22-Hewayde, Esam, et al. "Effect of mixture design parameters and wetting-drying cycles on resistance of concrete to sulfuric acid attack." *Journal of materials in Civil Engineering* 19.2 (2007): 155-163.

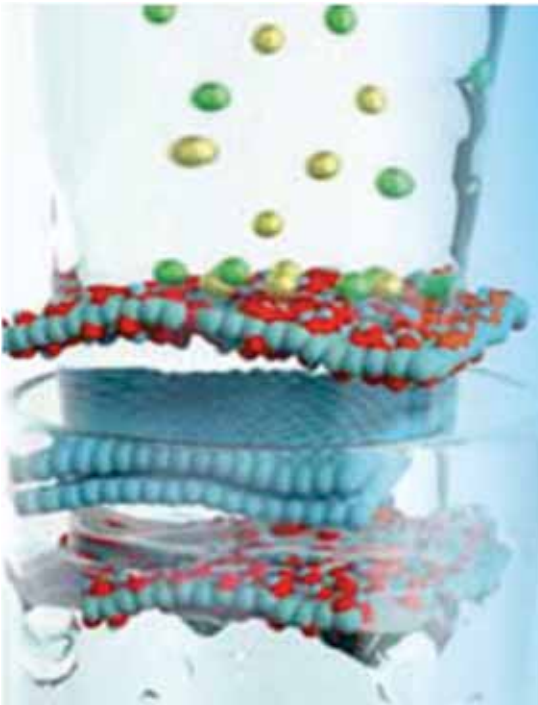
23-Islander, Robert L., et al. "Microbial ecology of crown corrosion in sewers." *Journal of Environmental Engineering* 117.6 (1991): 751-770.

24-De Muynck, Willem, Nele De Belie, and Willy Verstraete. "Effectiveness of admixtures, surface treatments and antimicrobial compounds against biogenic sulfuric acid corrosion of concrete." *Cement and Concrete Composites* 31.3 (2009): 163-170.

25-Chung, Yun-Chul, and J. B. Neethling. "Microbial activity measurements for anaerobic sludge digestion." *Journal (Water Pollution Control Federation)* (1989): 343-349.

26-Mori, Tadahiro, et al. "Interactions of nutrients, moisture and pH on microbial corrosion of concrete sewer pipes." *Water Research* 26.1 (1992): 29-37.

27-Sun, Xiaoyan, et al. "Impact of fluctuations in gaseous H 2 S concentrations on sulfide uptake by sewer concrete: the effect of high H 2 S loads." *Water Research* (2015).



نانو کامپوزیت‌ها و کاربرد آنها در تصفیه

میلاد پرگلی

مقدمه

با توجه به افزایش آلاینده‌های موجود و کشف آلاینده‌های جدید، همه ساله روش‌های مختلفی برای تصفیه آب و فاضلاب پیشنهاد می‌گردد که استفاده از علم نانو یکی از روش‌های جدید و کارآمد می‌باشد. پیشرفت‌های اخیر در زمینه نانو راهکارهای بسیار مناسب، فرآیندهای کارآمد، با کیفیت بالا و بدون نیاز به زیرساخت‌های بزرگ را برای تصفیه آب و فاضلاب و تأمین آب نسل‌های آینده ارائه می‌دهد. نانو جاذب‌ها به علت اندازه کوچک، تخلخل بالا، سطح مخصوص زیاد و نسبت سطح به حجم بالا، قادر به جذب آلاینده‌ها با اندازه‌های مختلف مولکولی، آلاینده‌های دارای خواص آبگریزی و خواص منحصر به فرد می‌باشند. نانو جاذب‌ها علاوه بر اینکه به سرعت واکنش می‌دهند، دارای پتانسیل کاتالیزوری و خواص قابل توجهی در اتصال آلاینده‌ها و راندمان حذف بالا می‌باشند. این خواص، ظرفیت جذب این مواد را نسبت به مواد دیگر بهبود می‌بخشد و با توجه به گسترش روزافزون نانوتکنولوژی، این روش جایگزین روش‌های معمول برای تصفیه می‌گردد که در اینجا به معرفی نانو کامپوزیت‌ها، انواع آن، روش‌های ساخت و کاربرد آنها در تصفیه آب و فاضلاب می‌پردازیم.

- نانو کامپوزیت‌ها و انواع آن

اکثر نانومواد به کارگرفته شده در تصفیه آب و فاضلاب مشکلات فراوانی را در محیط زیست ایجاد می‌کنند که می‌توان از تجمع زیاد، جداسازی سخت از آب و عوارض بالقوه بر سلامت انسان و محیط زیست، به عنوان تعدادی از این مشکلات نام برد. یکی از رویکردهای موجود برای حل این مشکلات، توسعه و استفاده از نانوکامپوزیت‌ها است. با قرارگیری نانومواد بر روی ماده میزبان و تشکیل نانوکامپوزیت، حذف آلاینده‌ها با راندمان بیشتری صورت می‌گیرد و علاوه بر این نانوکامپوزیت‌ها می‌توانند انتشار نانومواد را به محیط کاهش داده و باعث بهبود سازگاری فناوری نانو با زیرساخت‌های موجود شوند.

نانوکامپوزیت‌ها ترکیبات چند فازی هستند که حداقل یک فاز این ترکیبات در ابعاد ۱۰۰-۱ نانومتر می‌باشد. در این مواد هنگامی‌که یکی از فازها در اندازه نانو قرار می‌گیرد، خواص نانوکامپوزیت تشکیل شده با کامپوزیت‌های از همان جنس متفاوت می‌شود. می‌توان از قوی‌تر شدن نیروهای سطحی بین ماده زمینه و ماده پرکننده در ابعاد نانو نسبت به کامپوزیت معمولی، به عنوان یکی از تفاوت‌های ایجاد شده نام برد و برای رسیدن به حالت مطلوب و بهینه، نحوه توزیع و پراکندگی نانومواد بر روی ماده‌ی زمینه را کنترل نمود (Ajayan و همکاران، ۲۰۰۳).

نانوکامپوزیت‌ها از نظر اجزای تشکیل دهنده به دو دسته ماده پرکننده و ماده زمینه (ماتریس) تقسیم می‌شوند. ماده زمینه از لحاظ جنس، فلزی، سرامیکی و پلیمری

می‌باشد که در برخی از منابع، دسته‌ی فلزی-سرامیکی را نیز به این تقسیم‌بندی اضافه می‌کنند و هر یک کاربردهای متفاوتی دارند (مراثی و همکاران، ۱۳۸۶). در ادامه در جدول ۱، ترکیباتی که به عنوان فاز زمینه استفاده می‌شوند، آورده شده است.

جدول ۱- نمونه‌هایی از فاز پایه در نانوکامپوزیت‌ها (Camargo و همکاران، ۲۰۰۹)

زمینه	نمونه
فلزی	Fe-Cr/Al_2O_3, Ni/Al_2O_3, Co/Cr, Fe/MgO, Al/CNT, Mg/CNT
سرامیکی	Al_2O_3/SiO_2, SiO_2/Ni, Al_2O_3/TiO_2, Al_2O_3/SiC, Al_2O_3/ CNT
پلیمری	Thermoplastic/thermoset polymer/layered silicates, polyester/ TiO_2, polymer/ CNT, polymer/layered double hydroxides.

۱-۱- نانوکامپوزیت‌ها با پایه پلیمری

نانوکامپوزیت‌های با زمینه پلیمری از یک رزین پلیمری به عنوان فاز زمینه و رشته‌های تقویت کننده تشکیل شده‌اند و در قسمت‌های متفاوتی از محیط زیست، از جمله آب‌های زیرزمینی، تصفیه خانه‌های آب و فاضلاب، حذف آلاینده‌های خاک و.... به کار گرفته شده‌اند که مکانیسم اصلی هر یک از آنها برای این کاربردهای زیست محیطی، جذب و تجزیه کاتالیزوری می‌باشد. کاربرد بسیار گسترده، تطابق با دمای محیط، سهولت ساخت و هزینه کم را می‌توان از خصوصیات نانوکامپوزیت‌های پلیمری نام برد. این نوع از نانوکامپوزیت‌ها بیشترین کاربرد را در تصفیه آب و فاضلاب دارند (James، ۲۰۰۴).

۱-۲- نانوکامپوزیت‌ها با پایه فلزی

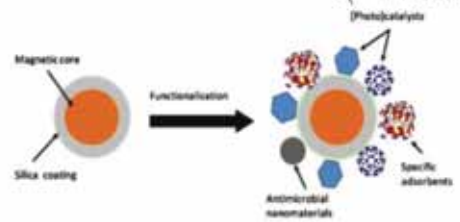
در نانوکامپوزیت‌های با زمینه فلزی، یک فلز انعطاف‌پذیر وجود دارد که در مقایسه با نانوکامپوزیت‌های پلیمری، دارای دمای عملکردی بالاتر، عدم اشتعال و مقاومت در برابر سیالات آلی، هزینه ساخت بالاتر و استفاده محدودتری می‌باشند (James، ۲۰۰۴).

۱-۳- نانوکامپوزیت‌ها با پایه سرامیکی

نانوکامپوزیت‌ها با زمینه سرامیکی به دلیل مقاومت بسیار بالا در برابر اکسایش در دماهای بالا، با وجود عدم انعطاف و شکست ترد، مناسب‌ترین گزینه برای استفاده در دماهای بالا و تنش‌های شدید می‌باشند. نانوکامپوزیت‌ها با زمینه سرامیکی تنها کامپوزیت‌هایی هستند که در دمای بالای ۹۰۰ درجه سلسیوس استحکام خود را حفظ می‌کنند (James، ۲۰۰۴).

۱-۴- نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی

نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی یک نوع منحصر به فرد از نانومواد می‌باشند که دارای نانوساختار هسته - پوسته بوده و توسط نانونرات پوشش داده شده‌اند و تولید میدان مغناطیسی می‌کنند. به دلیل اندازه این نرات و میل ترکیبی بسیار بالا، آنها قادر به حذف تقریباً ۹۹٪ عوامل آلودگی از آب می‌باشند. ترکیب نانولوله‌های کربنی با نانومواد مغناطیسی، راندمان بالایی در حذف یون‌های فلزی معدنی را به دنبال دارد. نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی قادر به جذب آلاینده‌ها از آب هستند. فرآیند فتوکاتالیستی به‌وسیله نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی در شکل ۱ نشان داده شده است (Zhang، ۲۰۱۶).



شکل ۱- فرآیند فتوکاتالیستی به‌وسیله نانو کامپوزیت‌های مغناطیسی (Zhang، ۲۰۱۶)

۱-۵- نانوکامپوزیت‌های سبز (بر پایه بایو)

نانوکامپوزیت‌های بر پایه بایو، یک کلاس جدید از کامپوزیت‌ها می‌باشند که امروزه بسیار گسترش یافته‌اند. این کامپوزیت‌ها از رزین‌های دوست‌دار محیط زیست و فیبرهای طبیعی تشکیل شده‌اند که به طور کلی فیبرهای طبیعی، به‌عنوان فاز پرکننده در نانو کامپوزیت استفاده می‌شوند و فاز زمینه معمولاً از پلیمرهای مصنوعی یا بایو پلیمر می‌باشد. فیبرهای طبیعی معمولاً از سبزیجات و فیبرهای سلولوزی لیگنینی تشکیل شده‌اند که سلولوز، باعث استحکام فیبر و لیگنین، باعث سختی فیبر می‌شود. فیبرها خود از چندین میکروفیبر ساخته شده‌اند که نحوه قرارگیری آنها بر ظرفیت سلولزی و خواص مکانیکی فیبرها تأثیرگذار است. یکی از مشکلات استفاده از فیبرهای طبیعی، حساسیت بالای فیبرهای طبیعی نسبت به رطوبت می‌باشد که باعث کاهش خواص مکانیکی آنها می‌گردد به طوری که پیوند بین فیبر و رزین‌های زمینه نانوکامپوزیت را کاهش می‌دهد. برای رفع این مشکل باید از پوشش‌های آب‌گریز بر روی فیبرها استفاده کرد (Mishra، ۲۰۱۴).

۲- نانو مواد بر پایه کربنی

برای هر فرآیند جذب، جاذب با سطح و تخلخل بالا، ویژگی کلیدی و بسیار مهم محسوب می‌گردد. در حال حاضر مواد متخلخل متفاوتی مانند کربن فعال، رس، زئولیت، پلیمرها و .... توسعه یافته‌اند که هر کدام از آنها، اثربخشی خاصی در حذف آلاینده‌های موجود دارند. کربن در انواع میکروسکوپی مختلفی وجود دارد. ترکیباتی همچون گرافیت، الماس، کربن‌های بی‌شکل، فولرن، نانوالیاف کربنی، نانولوله‌های کربنی و نانوگرافن از این دسته‌اند. فولرن به عنوان یک نانوماده‌ی صفر بعدی، نانولوله‌های کربنی به عنوان نانو ماده‌ی یک بعدی و گرافیت به عنوان ماده سه بعدی در نظر گرفته می‌شوند. طبق مطالعات انجام شده، شکل‌های مختلف کربن در میان نانو موادهای دیگر به‌عنوان جاذب باراندمان بالا برای آلاینده‌های آلی و غیر آلی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Santhosh و همکاران، ۲۰۱۶).

۲-۱- نانولوله‌های کربنی

از زمان کشف نانولوله‌های کربنی در سال ۱۹۹۱، این ساختارها به دلیل خصوصیات منحصربه فرد در زمینه‌های بسیار متنوعی مورد توجه قرارگرفته‌اند. نانولوله‌های کربنی یکی از آلوتروپ‌های کربن می‌باشند که به شکل استوانه‌ای و با ساختار لوله‌ای مورد توجه قرارگرفته‌اند و از واحدهای کربنی SP^2 تشکیل شده‌اند. آنها یک ساختار یکپارچه با شبکه‌های شش وجهی لانه زنبوری با قطر چند نانومتر و طول چند میکرومتر دارند و یکی از مهم‌ترین نانومواد‌های شناخته شده می‌باشند که نانوتکنولوژی را بطورگسترده‌ای توسعه داده‌اند (http://edu.nano.ir/paper/221).

نانولوله‌های کربنی را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد (Santhosh و همکاران، ۲۰۱۶):

- نانولوله‌های یک‌جداره
- نانولوله‌های چندجداره
- کامپوزیت‌های نانولوله

نانولوله‌های کربنی تک‌جداره از یک ورقه گرافیتی تک که به طور یکپارچه پیچیده شده است، تشکیل شده و یک استوانه با قطر ۲-۱ نانومتر را ایجاد کرده است. نانولوله‌های کربنی چندجداره را می‌توان به صورت لوله‌های گرافنی متراکم و نزدیک به هم، با لایه‌های متعددی از ورقه‌های گرافنی تعریف کرد که با حفره‌ای با قطر به‌طور معمول ۲ تا ۲۵ نانومتر متحدالمرکز با فاصله ۰/۳۴ نانومتر از هم جداشده اند (Santhosh و همکاران، ۲۰۱۶).

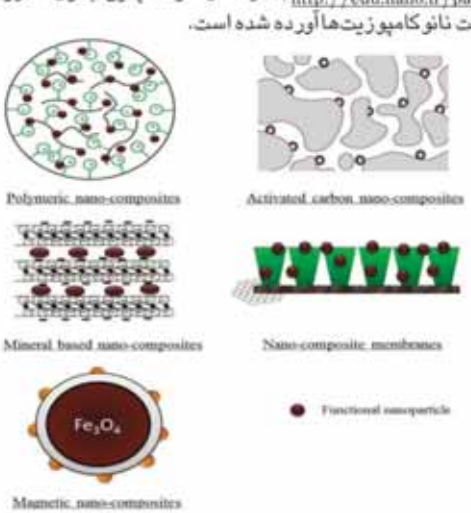
نانولوله های کربنی می‌توانند مانند فلزات یا نیمه رساناها عمل کنند و با توجه به ساختار، قطر و چرخش، خواص فلزی یا نیمه رسانا داشته باشند. مجموعه اندازه، ساختار و توپولوژی نانولوله ها، باعث ایجاد خصوصیات مکانیکی و سطحی مهم

در این ترکیبات می‌شود. ساختار نانولوله‌های کربنی، سراسر از کربن‌های هیبرید شده SP^2 تشکیل شده است که به طور قابل توجه از کربن‌های هیبرید شده SP^3 در الماس قوی‌تر هستند. در واقع نانولوله‌های کربنی، پایداری شیمیایی خوبی دارند و دارای استحکام کششی منحصر به فرد ۱۰۰ برابر بیشتر از استیل و مدول یانگ بالا می‌باشند. علاوه بر این، نانولوله‌های کربنی از آلومینیوم سبک‌تر هستند و تا دماهای بالای ۱۰۰۰ درجه سلسیوس پایداری حرارتی دارند و مهم این که الکترون‌ها بسته به نحوه آرایش نانولوله‌های کربنی به طور متفاوتی در طول نانولوله حرکت می‌کنند که باعث ایجاد خصوصیات نیمه رسانا یا فلزی در این مواد می‌شود. در ابعاد نانومتر، چند پارامتر مهم وجود دارد که تأثیر بسیاری بر خواص مواد می‌گذارد. اندازه و شکل فیزیکی نانومواد و چگونگی پیوندهای بین اتمی آنها از این قبیل پارامترها هستند. در مورد نانولوله‌های کربنی، پارامترهایی مانند طول، قطر، نحوه‌ی چینش اتم‌ها در ساختار نانولوله، تعداد دیواره‌ها، نقص‌های ساختاری و گروه‌های عاملی موجود بر روی نانولوله، از جمله خواص فیزیکی و شیمیایی هستند که در تعیین خواص نقش دارند. استفاده از نانولوله‌های کربنی در تصفیه آب و فاضلاب، با توجه به ساختار نانولوله ها، در محدوده وسیعی از pH امکان‌پذیر است که طبق مطالعات انجام شده، pH بهینه ۱۰- ۷ می‌باشد و در خارج از این محدوده امکان اینکه یونیزاسیون اتفاق بیفتد، وجود دارد (Santhosh و همکاران، ۲۰۱۶).

۲-۲- نانوگرافن

یک نانولوله، همانطور که از نامش برمی‌آید، یک استوانه‌ی تو خالی با قطری در حد نانومتر است. طول هر نانولوله می‌تواند از چند نانومتر تا چند میکرومتر باشد. اگر یک نانولوله‌ی تک دیواره را در نظر بگیریم، با برش دادن دیواره‌ی آن در راستای طول نانولوله، یک صفحه از اتم‌های کربن به نام گرافن به دست می‌آید. در این حالت اتم‌های کربن در وضعیتی قرار می‌گیرند که شبکه‌ای از شش ضلعی‌های منتظم را در حالت ایده‌آل ایجاد می‌کنند. با این وجود در بعضی مواقع، شکل این صفحات به گونه‌ای تغییر می‌کند که در آن پنج ضلعی‌ها و هفت ضلعی‌هایی نیز ایجاد می‌شود. طول هر یک از پیوندهای کربن – کربن در گرافن، در حدود ۰/۱۴۲ نانومتر می‌باشد و در یک صفحه گرافن، هر اتم کربن، یک پیوند آزاد خارج از صفحه دارد. این پیوند، مکان مناسبی برای قرارگیری برخی از گروه‌های عاملی و همچنین اتم‌های هیدروژن است که به تفصیل در بخش بعدی راجع به آن بحث خواهد شد (http://edu.nano.ir/paper/221).

به غیر از موارد گفته شده، کربن دارای صورت‌های دیگری نیز می‌باشد. از کربن آمورف، کربن شیشه‌ای، کربن سیاه، کربن متخلخل و کربن فعال‌شده می‌توان به عنوان این ترکیبات نام برد که در این پژوهش بررسی نشده‌اند (http://edu.nano.ir/paper/221). در شکل ۲ و همچنین جدول ۲ گروه‌های مختلف برای ساخت نانوکامپوزیت‌ها آورده شده است.



شکل ۱-۲- گروه‌های مختلف برای ساخت نانوکامپوزیت‌ها (Zhang، ۲۰۱۶)

جدول ۲-گروه‌های مختلف برای ساخت نانوکامپوزیت‌ها (Zhang، ۲۰۱۶)

انواع	مزایا	نحوه عملکرد و خواص
گرافنی	ساختار ساده- نرخ بالای عبور مولکول‌های آب-استحکام مکانیکی بالا	جذب-جداسازی-ضدمیکروبی
نانولوله‌های کربنی	جذب بالا-نرخ بالای عبور مولکول‌های آب-استحکام مکانیکی بالا	جذب-سنجش گری-ضد میکروبی
کربن فعال	هزینه کم-تخلخل بالا-سازگاری با انواع محیط ها	جذب
پلیمر	ساختار به هم پیوسته و مستحکم-استحکام مکانیکی بالا-پایداری شیمیایی بالا-سازگاری با محیط-ساختار قابل تنظیم -سهولت جداسازی	جذب- سنجش گری- فتوکاتالیستی-ضد میکروبی
مواد معدنی	هزینه کم-پایداری شیمیایی بالا-سازگاری با محیط زیست-مقاومت در برابر حرارت-ساختار منحصر به فرد با توجه به نوع مواد معدنی	جذب -اصلاح در محل
غشا	ساختار متخلخل-پایداری شیمیایی، مکانیکی و حرارتی بالا-سازگاری با انواع محیط ها	جذب-جداسازی-ضدمیکروبی-فتوکاتالیستی
بستر مغناطیسی	سهولت تغییر سطح-جداسازی آسان-سینتیک سریع	جذب-انعقاد-جداسازی

۳- روش‌های ساخت نانوکامپوزیت‌ها

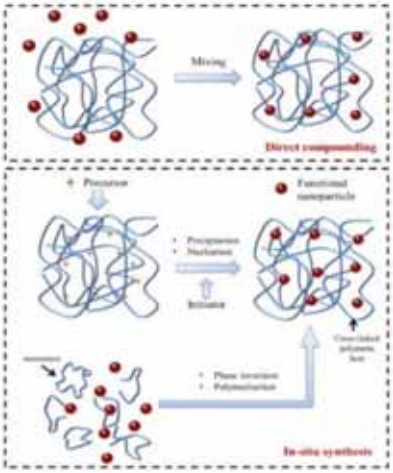
امروزه با توجه به پیشرفت روزافزون تکنولوژی و دستیابی به فناوری‌های جدید، روش‌های جدید و مقرون به صرفه‌ای برای سنتز نانوکامپوزیت‌ها به کار گرفته می‌شود. در ادامه با توجه به تقسیم‌بندی انجام شده برای نانوکامپوزیت‌ها، روش‌های مربوط به هر نوع از آنها آورده شده است.

۳-۱- روش‌های ساخت نانوکامپوزیت‌ها با پایه پلیمری

برای ساخت نانوکامپوزیت‌ها با پایه پلیمری، روش‌های متعددی وجود دارد که مهمترین آنها به شرح زیر می‌باشند (Camargo و همکاران، ۲۰۰۹):

- پرشدن پلیمر یا پیش‌پلیمر از محلول[1]
- تداخل ذوب[2]
- پلیمراسیون تداخلی در محل[3]
- ترکیب مستقیم پلیمر و ذرات[4]
- سنتز نمونه[5]
- پلیمراسیون در محل[6]
- روش سل ژل[7]

دو روش ترکیب مستقیم و پلیمراسیون‌درمحل، از روش‌های متداول‌تر ساخت نانوکامپوزیت‌های پلیمری می‌باشند که در شکل ۳ نشان داده شده اند.



شکل ۱-۳- ترکیب مستقیم و پلیمراسیون در محل در ساخت نانو کامپوزیت پلیمری (Zhang، ۲۰۱۶)

1- Intercalation of the polymer or pre-polymer from solution
2- Melt intercalation
3- In-situ intercalative polymerization
4- Direct mixture of polymer and particulates
5- Template synthesis
6- In-situ polymerization
7- Sol-gel process

۲-۲- روش‌های ساخت نانوکامپوزیت‌ها با پایه فلزی

برای ساخت نانوکامپوزیت‌ها با پایه فلزی روش‌های متعددی وجود دارد که مهمترین آنها به شرح زیر می‌باشند (Camargo و همکاران، ۲۰۰۹):

- اسپری پیرولیز[8]
- نفوذ فلزات مایع[9]
- انجماد سریع[10]
- تکنیک‌های بخار[11]
- شیمیایی شامل: سلژل و کلوئیدی[12]

۳-۳- روش‌های ساخت نانوکامپوزیت‌ها با پایه سرامیکی

برای ساخت نانوکامپوزیت‌ها با پایه سرامیکی روش‌های متعددی وجود دارد که مهمترین آنها به شرح زیر می‌باشند (Camargo و همکاران، ۲۰۰۹):

- پودری[13]
- مسیر پیشرو پلیمر[14]
- تکنیک‌های بخار
- اسپری
- شیمیایی شامل: سل ژل، کلوئیدی و بارش[15]
- سنتز نمونه

۴- فاز پرکننده در نانوکامپوزیت‌ها

به طورکلی مواد پرکننده در ناوکامپوزیت‌ها با توجه به خواص و کاربردشان به ۴ دسته تقسیم می‌شوند (Yin و همکاران، ۲۰۱۵).

- مواد آلی
- مواد معدنی
- بیومتریال
- مواد ترکیبی با ترکیبی از ۲ یا ۳ نوع ماده

۶- کاربرد نانوکامپوزیت‌ها

با توجه به ظرفیت کم جذب جاذبه‌ای معمول، استفاده از نانو ساختارها و نانوکامپوزیت‌ها به عنوان جاذب و همچنین در غشاها، به دلیل اندازه کوچک، تخلخل بالا، سطح مخصوص زیاد، خواص آبگریزی و کاتالیزوری توسعه بسیاری پیدا کرده است و ترکیب این مواد با زمینه‌های پلیمری، فلزی و سرامیکی باعث تشکیل نانوکامپوزیت‌هایی شده‌است که راندمان بالایی در جذب آلاینده‌ها دارند. می‌توان از ترکیب نانولوله‌های کربنی، فولرن، گرافن، الماس، فیبرهای کربنی، رس‌ها، کیتوزان، مواد سلولوزی و فیبرها با سایر مواد، به عنوان تعدادی از نانوکامپوزیت‌های مورد استفاده در فرآیند جذب نام برد (Mishra، ۲۰۱۴).

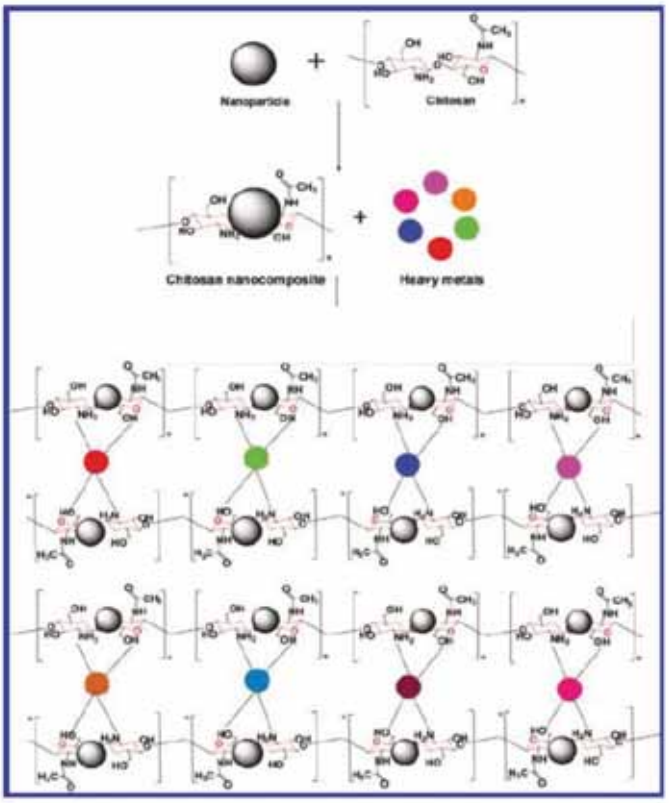
۵-۱- کاربرد نانوکامپوزیت کیتوزان بر پایه پلیمری در جذب فلزات سنگین

کیتوزان بایوپلیمری است که از کیتین ساخته شده و به وفور در طبیعت یافت می‌شود و بعد از سلولوز، دومین بایوپلیمر در دسترس در طبیعت می‌باشد. همچنین این ماده با توجه به ویژگی‌های منشأ طبیعی، قابلیت تجزیه‌ی بیولوژیکی، سازگاری با محیط و خواص ضد میکروبی، می‌تواند گزینه مناسبی به عنوان یک جاذب طبیعی باشد. در شکل ٤، مکانیسم حذف فلزات سنگین توسط کیتوزان به عنوان جاذب نشان داده شده است (Mishra، ۲۰۱٤).

۵-۲- نانوکامپوزیت های کیتوزان-رس در جذب فلزات سنگین

نانونرات کیتوزان، به عنوان جاذب فلزات سنگین به کار گرفته می‌شوند. اخیراً تحقیقات زیادی برای ترکیب کیتوزان و مشتقات رس، از جمله: بنتونیت، کائولینیت و مونتموریلونیت برای ساخت نانوکامپوزیت‌های رس-کیتوزان انجام شده‌است. خاک‌رس مانند کیتوزان، توانایی بالایی در حذف فلزات سنگین دارد.

حذف سرب توسط نانوکامپوزیت‌های کیتوزان مونتموریلونیت، حذف ۸۸ درصدی نیکل توسط نامپوزیت‌های کیتوزان بنتونیت در بستر ثابت و حذف کروم شش ظرفیتی از محلول آبی توسط نانوکامپوزیت‌های کیتوزان مونتموریلونیت، نمونه‌هایی از کاربردهای نانوکامپوزیت‌های رس-کیتوزان می‌باشد. با توجه به اهمیت گرافن در این پژوهش، می‌توان به حذف فلزات Au و Pd توسط نانو کامپوزیت گرافن اکسید شده و کیتوزان نیز اشاره کرد (Mishra، ۲۰۱۴).



شکل ۴- مکانیسم حذف فلزات سنگین توسط کیتوزان به عنوان جاذب (Mishra، ۲۰۱٤)

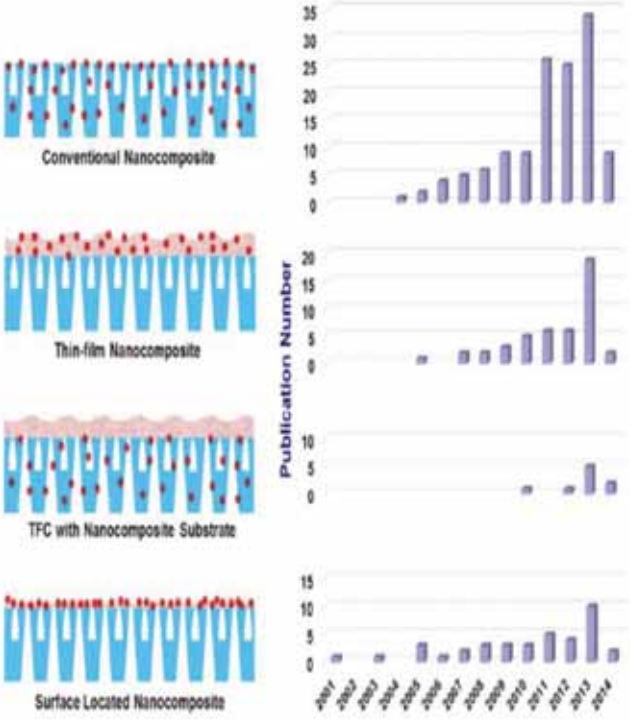
8- Spray pyrolysis
9- Liquid metal infiltration
10- Rapid solidification
11- Vapour techniques
12- Colloidal
13- Powder method
14- Polymer precursor route
15- Precipitation

۵-۳- کاربرد نانوکامپوزیت‌ها در غشا

می‌توان با اضافه‌کردن نانوذرات مختلف بر روی غشاها، بسیاری از خواص غشاها را بهبود بخشید و نانوکامپوزیت‌های غشایی را تشکیل داد که به سه دسته تقسیم می‌شوند (Zhang، ۲۰۱۶):

- غشاهای نانوکامپوزیتی معمول
- فیلم نازکی از غشاهای نانوکامپوزیتی
- غشاهای نانوکامپوزیتی با سطح پوشش داده شده

غشاهای نانوکامپوزیتی معمول، طی فرآیند تبدیل فاز و قرارگیری نانوذرات بر روی خلل و فرج بستر غشاها تشکیل می‌شوند. در مورد دوم، یک فیلم بسیار نازک به عنوان لایه مانع بر روی بستر غشا قرار گرفته و نانوذرات مختلف طی فرآیندهای انتقال فاز و پلیمراسیون روی فیلم نازک قرار می‌گیرند. در مورد سوم، نانوذرات می‌توانند از طریق تجمع در سطح، رسوب در سطح غشا، جذب و پیوند شیمیایی، غشاهای نانو کامپوزیتی با سطح پوشش داده شده را تشکیل دهند که در شکل ۵ نشان داده شده اند (Zhang، ۲۰۱۶).



شکل ۵ - انواع نانوکامپوزیت‌های مورد استفاده در غشا (Zhang، ۲۰۱۶)

۵-۴- کاربرد نانومواد مورد استفاده در غشاها به عنوان تقویت‌کننده

هرکدام از نانومواد مورد استفاده در غشاهای نانوکامپوزیتی، کاربردهای خاص خود را دارند که می‌توان موارد زیر را به طور خلاصه نام برد (Xiaolei و همکاران، ۲۰۱۳).

- نانوذرات فلزات اکسیدشده‌ی آب‌دوست، برای مثال (TiO_2-zeolit-Al_2O_3)
- نانوذرات ضد میکروبی، برای مثال (نانونقره-نانولوله‌های کربنی)
- نانومواد فتوکاتالیستی، برای مثال (نانوذرات دو فلزی-TiO_2)

۵-۴-۱- نانوذرات فلزات اکسیدشده‌ی آبدوست

هدف اصلی از افزودن نانوذرات فلزات اکسیدشده آب‌دوست، کاهش رسوب و جرم بر روی سطح غشا با افزایش خاصیت آب‌دوستی، افزایش نفوذپذیری به دلیل افزایش هیدرولیکی سطح غشا، کاهش تاثیرات منفی گرما و بهبود خواص مکانیکی و حرارتی غشاهایی هستند که از جنس نانوکامپوزیت تشکیل شده‌اند (Xiaolei و همکاران، ۲۰۱۳).

۵-۴-۲- نانوذرات ضد میکروبی

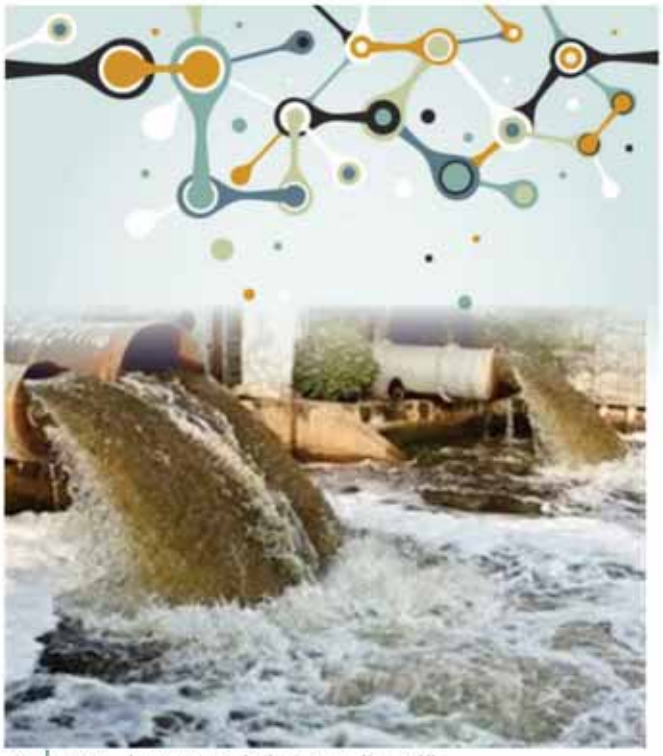
نانوذرات ضد میکروبی، مثل نانوذرات نقره و نانولوله‌های کربنی، باعث کاهش رسوبات ناشی از میکروارگانیسم‌ها بر روی سطح فیلتر می‌شوند. برای مثال نانوذرات نقره که با غشاهای پلیمری تشکیل کامپوزیت می‌دهند، باعث مهار جذب باکتری و تشکیل بیوفیلم بر روی سطح فیلتر می‌شوند. با این حال این روش در دراز مدت راندمان کافی ندارد.

نانولوله‌های کربنی نیز باعث حذف میکروارگانیسم‌ها با تماس مستقیم با آنها بر روی سطح می‌شوند. این مواد در آب حل نمی‌شوند و نیازی به دوباره وارد کردن به سطح فیلتر نیست. با این‌حال برای تعیین تاثیرات رسوبات و بیوفیلم در دراز مدت بر روی راندمان آنها، نیاز به آزمایشات گسترده‌ای می‌باشد (Xiaolei و همکاران، ۲۰۱۳).

برای حذف میکروارگانیسم‌ها با راندمان بالای ۹۰٪، می‌توان از نانوکامپوزیت پلی‌وینیل‌کربازول و نانولوله‌های کربنی چند جداره با (۳٪) وزنی استفاده کرد و با افزودن مقدار بسیار کمی از نانولوله‌های کربنی چند جداره (۱٪ وزنی) به غشا پلی‌سولفون، باعث افزایش خاصیت نفوذپذیری و آب‌دوستی غشا گردید (Xiaolei و همکاران، ۲۰۱۳).

۵-۴-۳- نانومواد فتوکاتالیستی

نانوکاتالیست‌ها به علت افزایش سطح مخصوص و خواص کاتالیستی در ابعاد نانومتری اهمیت پیدا می‌کنند و اگر توسط نور فعال شوند به آنها نانوذرات فتوکاتالیستی می‌گویند. کنترل ابعاد و ساختار نانومتری مواد، باعث افزایش طول عمر فیلترها می‌گردد. نانوذرات TiO_2، یکی از مهمترین موادی هستند که در فرآیندهای فتوکاتالیستی به کار گرفته می‌شوند. ترکیب نانوذرات کاتالیستی فلزی یا غیرفلزی، مانند نانوذرات آهن صفر ظرفیتی و نانوذرات فلزات نجیب با غشاهای پلیمری نیز باعث حذف آلاینده‌ها (به خصوص ترکیبات کلر) و تبدیل آنها به مواد بی‌خطر می‌گردد، به‌گونه‌ای که نانوذرات آهن صفر ظرفیتی الکترون از دست می‌دهند و نانوذرات فلزات نجیب به عنوان کاتالیزور واکنش هستند (Xiaolei و همکاران، ۲۰۱۳).



به کارگیری مواد تثبیت کننده جهت تثبیت خاک در پروژه‌های راهسازی

● **سعید امانی**(دانشجو کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس)
● **امیر کاووسی**(استاد دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس)

چکیده

امروزه انواع مختلفی از مواد تثبیت‌کننده جهت غلبه بر محدودیت‌های ذاتی مصـــالح طبیعی در سرتاسر جهان استفاده می‌شود. علاوه بر افزایش مقاومت و سختی و مشخصات مصـالح، مواد تثبیت‌کننده باعث افزایش دوام و مقاومت در برابر عوامل آب و هوایی و محیط زیستی می شود. تأثیر اقتصـادی و محیط زیســتی استفاده از ماده مناسب، نوآوری و راه حل‌های جایگزین، نظیر استفاده از تثبیت کننده‌هایی که از منابع محلی موجود استفاده می‌کنند، توسعه یافته اسـت. اغلب با اسـتفاده از یک ماده محلی با اضـافه کردن مقدار کمی از مواد تثبیت‌کننده با هزینه‌های نســـبتا کم، می‌توان مقاومت و سختی لایه مورد نیاز را به دست آورد. این تکنیک‌ها، همانطور که برای بازیافت کاربردی هســتند، برای ساخت وساز جدید نیز قابل استفاده می‌باشند. با افزودن یک ماده ی تثبیت‌کننده، مصـــالح روسازی موجود می‌توانند بهبود یافته و منجر به از بین بردن نیاز به استفاده از مواد جدید برای دستیابی به مقاومت مورد نیاز در سازه روسازی بازسازی شده شوند. هدف از مواد تثبیت‌کننده، رفتار آنها و مهمتر از همه، عوامل اولیه که بر انتخاب یا رد شـدن آنها تأثیر می‌گذارد، باید به وضوح درک شود. این مقاله تلاش می‌کند تا با استفاده از معرفی انواع روش ای مختلف تثبیت و مقایســه مزیت‌ها و معایب هر روش، این مسائل را بررسی کند.

۱- مقدمه

در حال حاضر، طیف گسـترده‌ای از مواد تثبیت کننده در سراسر جهان استفـــاده می‌شـــوند، از جمله: عوامل مرطوب کننده مانند عوامل فعال ســـطحی، نمک‌های گیرنده رطوبت هوا مانند کلســـیم کلرید، پلیمرهای طبیعی و مصـــنوعی، موم‌های اصلاح شده، رزین های نفتی، قیر، تثبیت کننده های سیمانی مانند سیمان، آهک، خاکســـتر بادی. تمام مواد تثبیت‌کننده برای دستیابی به هدف یکســـان که ایجاد چسبندگی بین ذرات سنگدانه‌ها در کنار یکدیگر برای افزایش مقاومت و سختی و یا ساخت مصالح مقاوم در برابر آب و مصـالحی بادوام است. مهندسان باید بسـته به نوع پروژه تصـــمیم بگیرند که کدام عامل تثبیت‌کننده در یک پروژه خاص استفاده گردد. چنین تصـــمیماتی به طور قابل توجهی تحت تأثیر عواملی مانند هزینه واحد تثبیت‌کننده، در دسترس بودن ماده‌ی تثبیت‌کننده، ویژگی مصالح، دوام در دوره‌ی سرویس‌دهی و سیاست‌های کارفرمای پروژه قرار می‌گیرند.

۲- تعریف تثبیت و اهداف آن

تثبیت خاک به اصلاح و بهبود خواص فیزیکی و مهندسـی یک خاک برای تامین یک رشـته اهداف از پیش تعیین شـده اطلاق می‌شـود. انتخاب هر یک از روش‌ها برای تثبیت خاک، بسـتگی به نوع و جنس خاک و همچنین هدف از تثبیت آن دارد. تثبیت خاک، مانند هر تصـمیم دیگر مهندسی، بایسـتی پس از بررسی راه حل‌های مختلف که از نظر فنی و اقتصـــادی قابل قبول است انجام شود. اهم اهداف تثبیت خاک به شرح زیر است:

اسـتفاده موثر از قرضـه‌های جانبی، اصـلاح خاک‌های نرم و کم مقاومت، افزایش دوام خاک، افزایش مقاومت باربری خاک، بهبود نفوذپذیری خاک در برابر جـریان آب، کاهش تورم و انقباض خاک، کاهش رطوبت خاک، کاهش چسـبندگی خاک‌های رسی اشباع ، جلوگیری از فرسـایش خاک، کاهش ضـخامت لایه‌ی روسـازی، ایجاد لایه‌های اساس و زیراساس با قابلیت باربری بیشـــتر، بازسازی روسازی‌های فرسوده با استفاده از مصـــالح موجود، آماده‌سازی محوطه ای برای اجرای آسانتر عملیات ساختمانی، کاهش گرد و غبار، صرفه‌جویی در مصـرف مصـالح، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و تسریع در عملیات اجرایی.

۳- انواع روش‌های تثبیت

۳-۱- روش مکانیکی

متـراکم کـردن خاک‌ها به روش مکانیکی یکـی از متداول‌تـرین و کم هـزینه‌تـرین روش‌های تثبیت برای خاک‌ها در راهســـازی است. تثبیت خاک به روش مکانیکی به طرق مختلف و با استفاده از غلتک‌های متداول در راهســـازی انجام می‌شود [۱]. نحوه متراکم‌کردن خاک‌ها بستگی به نوع، جنس و دانه‌بندی آنها دارد که می‌تواند به طریق استاتیکی، ضـربه‌ای و یا ارتعاشـی انجام شـود. صـرف نظر از نحوه تراکم خاک، متراکم کردن خاک باعث کاهش فضـــای خالی توده خاک شده که منجر به افزایش وزن مخصوص خشـک آن می‌شود. علاوه بر آن، متراکم‌کردن خاک‌ها باعث کاهش نفوذپذیری آنها نیز می‌شود. میزان‌تراکم و وزن مخصوص خاک‌ها بستگی به عوامل مختلفی از جمله رطوبت آنها دارد. هر اندازه انرژی تـراکم به کار رفته بـرای کوبیدن خاکی بیشتر باشد، حداکثر وزن مخصوص خشک آن نیز بیشتر خواهد شد. لیکن در مورد درصد رطوبت بهینه، عکس این مطلب صادق است. برای تعیین میزان تراکم خاک‌ها به روش مکانیکی، باید وزن مخصوص خشک آنها بعد از کوبیده‌شدن اندازه‌گیری و با حداکثر وزن مخصـوص خشـک آزمایشـگاهی همان خاک‌ها مقایسـه شود. [۱].

۳-۲- روش شیمیایی

1- Surfactant
2- Hygroscopic salts

در این روش، تثبیت خاک‌ها با افزودن مواد شیمیایی که باعث واکنش شیمیایی با خاک می‌شود، انجام می‌گردد. آهک و سیمان از جمله موادی هستند که با بروز فعل و انفعالات شیمیایی، اثرات مهمی بر روی مشخصات فنی خاک‌ها می‌گذارند. اضافه کردن مواد تثبیت‌کننده نظیر سیمان و آهک به خاک‌های ریزدانه موجب بروز چندین واکنش، نظیر واکنش تبادل یون‌های مثبت، واکنش تجمع و واکنش پوزولانی می‌شود. شدت نسبی این واکنش‌ها بستگی به خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک به ویژه نوع کانی‌های رسی، یون‌های سدیم قابل جایگزین شدن، آهن قابل ترکیب، نسبت سیلیس به آلومین و درجه هوازدگی خاک دارد. تعیین نوع و درصد ماده تثبیت‌کننده شیمیایی بستگی به رده خاک و هدف از تثبیت دارد. بنابراین برای انتخاب نوع و مقدار ماده تثبیت‌کننده ابتدا باید نوع خاک شناسایی و سپس هدف از تثبیت با توجه به کاربرد خاک مشخص گردد [۱،۲]. گوگرد، کلرور کلسیم، سدیم یا منیزیم، سیلیکات سدیم، خاکستر ذغال سنگ و سرباره کوره‌های آهن‌گدازی نیز از انواع دیگر تثبیت کننده‌های شیمیایی هستند که به تنهایی یا در ترکیب با آهک و سیمان برای اصلاح و بهبود مشخصات فنی خاک‌ها کاربرد دارند. کلرورها معمولا برای تثبیت رویه‌های شنی در مناطقی که رطوبت نسبی هوا بیشتر از ۴۰ درصد است کاربرد دارد [۳].

بهترین زمان برای تثبیت رویه‌های شنی با کلرورها، بلافاصله پس از یک بارندگی است. مقدار کلرور لازم برای تثبیت خاک رویه‌های شنی، بین ۴/۰ تا ۸/۰ کیلوگرم بر مترمربع است که با استفاده از پخش کننده‌های مکانیکی نظیر ماشین‌های مخصوص پخش آهک خشک، بر روی سطح راه به طور یکنواخت پخش می‌شود. تجربه نشان داده است که اگرچه از کلرور سدیم نیز می‌توان برای تثبیت رویه‌های شنی استفاده نمود لیکن استفاده از این ماده برای تثبیت رویه های شنی باعث زنگزدگی، خوردگی و پوسیدگی زودرس اجزا و بدنه وسایل نقلیه موتوری استفاده‌کننده از راه می‌شود. علاوه بر این، بسیاری از کشورهای جهان به دلیل نسبت اندک بازده‌ی مفید به مخارج استفاده از کلرورها و همچنین سیلیکات سدیم برای تثبیت رویه‌های شنی، توصیه کرده‌اند که برای تثبیت رویه‌های شنی از قیر، آهک و یا سیمان برحسب مورد و با توجه به اهداف تثبیت و نسبت بازده‌ی مفید به مخارج عمر بهره‌برداری از راه استفاده شود [۳].

۳-۳- روش بیولوژیک

این روش بیشتر شامل رویاندن گیاه به منظور تثبیت و مقاوم کردن خاک در شیب‌ها جهت جلوگیری از لغزش خاک یا جلوگیری از فرسایش و شسته‌شدن آن در برابر جریان آب‌های سطحی، بارندگی و سیلاب‌ها انجام می شود [۴].

۳-۴- روش فیزیکی

ثبیت خاک‌ها به این روش بیشتر به منظور افزایش مقاومت و دوام خاک‌ها انجام می‌شود. قیر یکی از قدیمی‌ترین موادی است که به صورت‌های مختلف برای این منظور استفاده می‌شود. در حال حاضر قیر به صورت خالص، محلول و یا امولسیون برای تثبیت خاک‌ها و لایه‌های روسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مکانیزم تثبیت خاک به روش فیزیکی با مکانیزم تثبیت خاک به روش شیمیایی کاملاً متفاوت است. در تثبیت خاک به روش شیمیایی، افزایش مقاومت خاک در اثر فعل و انفعالات شیمیایی موسوم به فعل و انفعالات پوزولانی به وقوع می‌پیوندد، در صورتی‌که تثبیت‌کننده‌های قیری، دانه‌های خاک را اندود و یک غشاء غیر قابل نفوذ در برابر آب ایجاد می‌کنند. افزایش مقاومت خاک به علت اندود شدن دانه‌های خاک با قیر و چسبیدن آنها به یکدیگر است. از این جهت هر اندازه مخلوط خاک و قیر متراکم شود، استقامت و باربری آنها نیز بیشتر خواهد شد [۱،۲،۴]. الیاف پلیمری موسوم به ژئوگرید، ژئوتکستایل‌ها، تسمه‌های فولادی و پلیمری، مصالح دیگری هستند که به منظور تسلیح خاک‌ها و تثبیت فیزیکی آنها کاربرد دارند.

۳-۵- روش الکتریکی

در این روش، تثبیت خاک‌های ریزدانه و اشباع، به ویژه خاک‌های رسی اشباع شده، با کاهش رطوبت آنها از طریق ارسال جریان الکتریکی در خاک انجام می‌شود. ارسال جریان الکتریکی در خاک باعث افزایش سرعت زهکشی و در نتیجه کاهش سریع رطوبت خاک می‌شود. برای این منظور ابتدا لازم است که تعدادی چاه در منطقه‌ای که کاهش رطوبت خاک آن مورد نظر است، حفر گردد و سپس با فروراندن میلگردهای فولادی یا آلومینیومی به قطر ۱۵ تا ۲۵ میلیمتر در خاک و ارسال جریان الکتریکی از طریق آنها، سرعت زهکشی خاک افزایش داده شود. در این روش، چاه‌های حفر شده الکترود منفی و میلگردها الکترود مثبت هستند. برای افزایش راندمان کار، معمولاً تعداد سه تا پنج چاه به قطر ۵۰ میلیمتر در فواصل ۲ تا ۵ متری از یکدیگر، به صورت گروهی در اطراف هر الکترود مثبت با دستگاه‌ها و تجهیزات پیشرفته حفر می‌شوند. عمق حفاری و همچنین طول میلگردها نیز بسته به مورد و هدف تثبیت، بین ۲ تا ۱۵ متر تغییر می کند و مقدار جریان الکتریکی لازم برای هر چاه نیز بین ۲۰ تا ۳۰ آمپر در تغییر است [۵،۶]. افزایش مقاومت و بهبود مشخصات فنی خاک‌های ریزدانه و رسی، با کاهش رطوبت آنها از طریق الکتریکی موسوم به الکترواسموز برای تثبیت خاکریزها و لایه‌های روسازی، معمولاً مقرون به صرفه نبوده و کاربرد چندانی ندارد.

۴- مواد تثبیت‌کننده سیمانی

آهک، سیمان و ترکیبات این محصولات با خاکستر بادی، پودر سنگ سرباره و سایر مصالح پوزولانی، اغلب به‌عنوان مواد تثبیت‌کننده استفاده می‌شوند. به غیر از آزمایشات اولیه رومی‌ها با آهک به عنوان ماده تثبیت‌کننده، سیمان نیز به عنوان ماده تثبیت‌کننده استفاده شده است. اولین کاربرد رسمی ثبت‌شده به عنوان ماده

تثبیت در ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۱۷ بوده است. عملکرد اولیه این مواد، افزایش مقاومت باربری است. این امر به واسطه افزایش قابل توجه مقاومت کششی و فشاری مواد یا کاهش حالت خمیری به دست می‌آید. سیمان، تثبیت‌کننده‌ای است که بیشترین افزایش مقاومت را فراهم می‌کند. آهک آزاد که در طول فرآیند هیدراتاسیون آزاد می‌شود، با هر ذره‌ای از رس که ممکن است وجود داشته باشد، واکنش نشان می‌دهد و در نتیجه باعث کاهش حالت خمیری می‌شود. آهک، عمدتا از آهک آزاد تشکیل شده است و ازاین‌رو بیشتر به عنوان مواد تثبیت‌کننده برای مصالح با حالت خمیری است ($PI> 10\%$). استفاده از مخلوط‌های سیمانی و سیمان برای ترمیم مصالح باید محدود به مصالح با شاخص خمیری کمتر از ۱۰ باشد. میزان مقاومت به دست آمده، تحت کنترل مقدار افزودنی به عنوان تثبیت‌کننده و نوع مصالح تحت ترمیم است [۷].

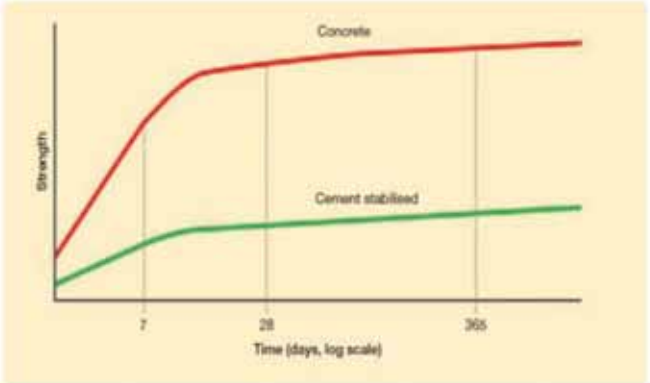
مواد تثبیت‌کننده سیمانی، مصالح نیمه تردرا تولید می‌کنند. افزایش مقاومت یک لایه تثبیت‌شده منجر به افزایش تردی و در نتیجه باعث کاهش انعطاف‌پذیری می‌شود. سطح مقاومت بالا در لایه سیمان، باعث افزایش تنش‌های بیشتر ناشی از بارگذاری چرخ می‌شود. این مساله به صورت ثابت منجر به ازدیاد ترک در زیر تکرار ترافیک سنگین می‌شود و عملکرد سازه‌ای را کاهش می‌دهد [۷].

۴-۱- عوامل موثر بر مقاومت در لایه‌های تثبیت‌شده با سیمان

مقاومت فشاری و کششی که در مواد تثبیت‌کننده سیمانی حاصل می‌شود، عمدتا با مقدار سیمان اضافه‌شده، نوع مصالح، چگالی مصالح متراکم‌شده و طولانی‌تر کردن عمل‌آوری تعیین می‌شود. مقاومت بصورت خطی با مقدار سیمان و با نرخ‌های متفاوت برای مصالح مختلف و نوع سیمان افزایش می‌یابد. تراکم نقش مهمی در تعیین مقاومت نهایی دارد، در حالیکه دمای محیط به طور مستقیم بر میزان افزایش مقاومت اثر می‌گذارد، در دمای محیط بالاتر، نرخ افزایش مقاومت سریع تر اتفاق می‌افتد.

۴-۲- ترک در لایه‌های تثبیت‌شده با سیمان

تمام مواد ترمیم شده با سیمان، از جمله بتن، مستعد ترک خوردگی هستند. نرخ بهره‌مند شدن از مقاومت فشاری و کششی در تثبیت‌کننده سیمانی، تابعی از زمان است. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، تنش کششی در مصالح ترمیم‌شده با سیمان در اثر انقباض و یا ترافیک ایجاد می‌شود و اگر این مقاومت کششی در زمان افزایش پیدا کند، ترک رخ می‌دهد. چنین ترک‌هایی می‌توانند کنترل شوند و لزوما مضر نیستند. با این حال، مهم است بدانیم که مواد ترمیم‌شده با سیمان، به دو دلیل کاملا متفاوت تمایل به ترک خوردن دارند. اول در اثر انقباض ناشی از واکنش شیمیایی است که هنگام حضور هیدرات‌های سیمان در حضور آب اتفاق می‌افتد و بنابراین شامل ترافیک نمی‌باشد. دوم در اثر تکرار بار ترافیکی بیش‌از حد در طی‌زمان ایجاد می‌شود. شروع و تکثیر پس از آن، فرآیندهای کاملا متفاوتی هستند که حاکی از این است که آنها به صورت جداگانه در نظر گرفته می‌شوند [۷].



شکل ۱- رابطه‌ی مقاومت-زمان در مصالح سیمانی [۷]

۴-۲-۱- ترک‌های انقباضی

هنگامی که مصالح با سیمان ترمیم می‌شوند، وقوع این ترک‌ها حتمی است. علاوه بر تولید گرما، در طول این واکنش شیمیایی، تغییرات دیگری نیز رخ می‌دهد. همانطور که چسبندگی شکل می‌گیرد، مصالح دچار تغییر حجم و انقباض شده که باعث ایجاد ترک می‌شود و معمولا به عنوان ترک انقباضی نامیده می‌شود. این ترک‌های انقباضی اجتناب ناپذیر هستند و یکی از ویژگی‌های استفاده از سیمان می‌باشد. شدت (فاصله ترک) و اندازه (عرض ترک) که به درجه ترک‌خوردگی شناخته می‌شوند، عمدتا توسط پارامترهای زیر کنترل می‌شوند [۷]:

·مقدار سیمان: انقباضی که در طول هیدراتاسیون اتفاق می‌افتد، تابعی از مقدار سیمان است. افزایش میزان سیمان باعث افزایش میزان ترک‌خوردگی می‌شود و یکی از دلایل اساسی برای به حداقل رساندن افزودن سیمان به منظور دستیابی به الزامات طراحی است.

·نوع مصالح تثبیت‌کننده: تمایل به انقباض بعضی از مصالح در هنگام ترمیم با سیمان بیشتر از دیگرمصالح می‌باشد. علاوه بر این، بعضی از مواد خمیری تمایل به فعال شدن دارند و تغییرات حجم قابل توجهی بین حالت‌های مرطوب و خشک نشان داده می‌شود. جاییکه PI مصالح بیشتر از ۱۰ است، افزودن آهک و یا ترکیبی از آهک و سیمان باید برای کاهش حالت خمیری استفاده شود.

·مقدار رطوبت تراکم و نسبت آب به سیمان: درجه ترک‌خوردگی، تابعی از مقدار رطوبت ازدسترفته ناشی از هیدرات‌های سیمان و مواد خشک است. محدودکردن مقدار رطوبت (یا کاهش نسبت آب به سیمان) درزمان تراکم به میزان کمتر از ۷۵% از رطوبت اشباع، می‌تواند به طور قابل توجهی منجر به کاهش درجه ترک‌خوردگی شود.

·میزان خشک‌شدن : هنگامی که مصالح سیمانی منقبض می‌شوند، تنش‌های داخلی در داخل مصالح ایجاد می‌شود. درجه ترک‌خوردگی تا حد زیادی توسط میزان نرخ افزایش مقاومت نسبت به میزان افزایش تنش انقباضی تعیین می‌شود. اگر مصالح به سرعت خشک شود، الگوی ترک با ترک‌های باریک گسترش می‌یابد. خشک‌شدن آهسته، یک الگوی ترک با ترک‌های عریض می‌بیند.

۴-۲-۲- ترک‌های ناشی از ترافیک

این ترک‌ها، به عنوان یک نتیجه از تکرار تنش کششی ناشی از بارهای ترافیکی در لایه تثبیت‌شده با سیمان، رخ می‌دهد. آغاز ترک در پایین لایه، جایی که تنش کششی حداکثر منجر به کرنش حداکثر است، رخ می‌دهد. به عنوان نیمه‌شکننده با خواص انعطاف‌پذیری نسبتا ضعیف، لایه‌های تحت پوشش سیمان به شدت حساس به بارگذاری هستند [۷].

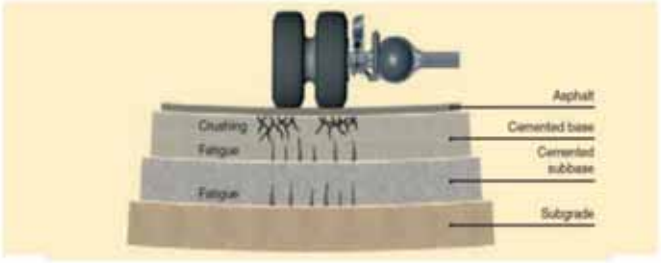
۴-۳- شکستگی (خردشدن) سطحی

خرد شدن در قسمت بالای یک لایه تثبیت‌شده با سیمان، زمانی که تنش‌های ناشی از ترافیک از مقاومت فشاری مصالح بیشتر شود، رخ می‌دهد. احتمال شکست خرد شدگی بستگی به عوامل زیر دارد:

·مقاومت فشاری مصالح تثبیت‌شده در بخش بالایی از لایه

·ضخامت و نوع پوشش سطح

·فشار لاستیک و همچنین بار اعمال شده از محور



شکل ۲- مکانیزم خردشدگی در لایه‌های تثبیت‌شده با سیمان [۷]

۴-۴- مسایل مربوط به دوام لایه‌های تثبیت‌شده با سیمان

دوام مصالح طبیعی، عمدتا مربوط به هوازدگی و تخریب ذرات تحت تاثیر شرایط آب و هوایی و تکرار بارهای ترافیکی است. چنین تخریبی یک روند آهسته دارد و خصوصیات مصالح معمولا در طول عمر جاده به طور قابل ملاحظه ثابت می‌ماند، به ویژه اگر از مصالح با کیفیت بالا استفاده شود. با این حال، هنگامی‌که مصالح با کیفیت ضعیف با سیمان تثبیت‌شده باشند، باید جنبه‌های بیشتری مرتبط با دوام را در نظر گرفت. در شرایط خاص، خواص آنها می‌تواند در طول دوره‌های کوتاه به دلیل کربناته[۳]شدن و تاثیرات آب و هوایی تغییر کند.

آزمایش CBR(نسبت باربری کالیفرنیا)، به طور گسترده‌ای به عنوان شاخصی از مقاومت باربری برای مصالح طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما برای مصالح با مقاومت بالا، سیمان مناسب نیست. بنابراین آزمایش مقاومت فشاری محدود نشده[۴] (UCS) پذیرفته شد. هر چند تحقیقات نشان داده است که UCS تنها شاخص قابل اعتماد دوام نیست، چرا که یک ماده تثبیت‌شده که با الزامات مشخص شده UCS تامین می‌شود، می‌تواند در مدت کوتاهی خراب و متلاشی شود. بنابراین آزمایش‌های اضافی لازم است تا اطمینان حاصل شود که مصالح تثبیت‌شده با سیمان به طور قابل ملاحظه‌ای در برابر اثرات مخرب کربناته شدن مقاوم هستند. برای تعیین پتانسیل کربناته شدن، می‌توان چند آزمایش دوام از قبیل آزمایش جاروب خیس/خشک، تعیین مصرف اولیه آهک[۵](ICL) یا سیمان[۶] (ICC) و شاخص مقاومت کششی غیر مستقیم (ITS) را انجام داد [۷].

۴-۵- پارامترهای کلیدی برای تثبیت مصالح سیمانی

سه ویژگی مهم مصالح تثبیت‌شده با سیمان عبارتند از [۷]:

۱- مقاومت: مقاومت فشاری و کششی هر دو توسط آزمایش‌های UCS و ITS اندازه‌گیری می‌شوند که پارامترهای مهمی برای ارزیابی مصالح تثبیت‌شده با سیمان هستند.

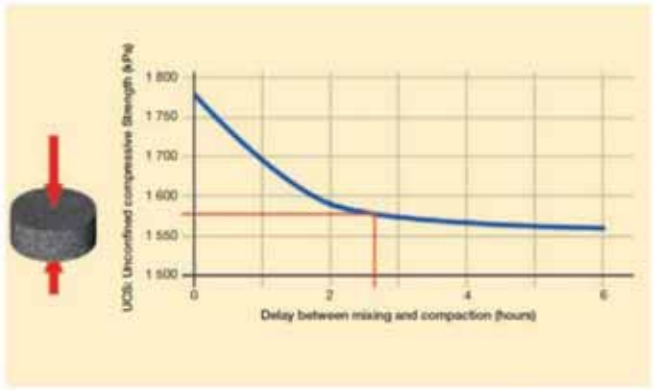
شاخص UCS: آزمایش UCS به طور معمول برای ارزیابی مصالح سیمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار UCS، معمولا از نمونه‌هایی که برای مدت ۷ روز در دمای ۲۲ درجه سانتیگراد و رطوبت بیش از ۹۵ درصد عمل‌آوری شده، تعیین می‌شود. برخی از روش‌های آزمایش اجازه می‌دهد تا عمل‌آوری سریع‌تر شود.

جدول۱- میزان مصرف سیمان معمولی (بر حسب درصد وزنی) [۷]

Typical cement application rates (percent by mass)		
Material type	Target UCS value	
	< 4 MPa	Up to 10 MPa
RAP/crushed stone (50/50 blend)	2.0 to 3.0	3.5 to 5.0
Graded crushed stone	2.0 to 2.5	3.0 to 4.5
Natural gravel (PI < 10, CBR >30)	2.5 to 4.0	4.0 to 6.0

شاخص ITS: آزمایش ITS حساسیت بیشتری نسبت به مقدار تثبیت‌کننده، نسبت به آزمایش UCS نشان می‌دهد و همچنین به عنوان یک اندازه‌گیری از دوام طولانی مدت، مورد استفاده قرار می‌گیرد. تحقیقات اخیر نشان داده است که حداقل مقدار ITS مورد نیاز برای مقاومت در برابر نیروهای مخرب تولید شده توسط کربناته شدن، ۲۵۰ کیلوپاسکال است.

۲- زمان فرآیند: مخلوط‌کردن، قرار دادن، جمع‌کردن و به پایان رساندن باید در کوتاهترین زمان ممکن انجام شود. محدودیت زمانی ۴ ساعت، به طور معمول برای ترمیم سیمان، از زمانی که سیمان در ابتدا با مصالح و رطوبت ارتباط دارد، تا زمانی که تراکم کامل شود اندازه‌گیری می‌شود. به شدت توصیه می‌شود تاخیر مجاز بین اختلاط و تراکم، با تحلیل افزایش میزان مقاومت در برابر زمان تاخیر برای مصالح تثبیت‌شده در شرایط شبیه‌سازی شده پروژه (به ویژه دما)، بررسی شود. برای مثال شکل ۳ نشان می‌دهد که زمان ۲.۵ ساعت، زمان مجاز برای دستیابی به مقاومت مورد نیاز است. این مهم است که این زمان به حداقل برسد. با استفاده از برنامه‌ریزی مناسب، این بازه‌ی زمانی می‌تواند به کمتر از یک ساعت با استفاده از تجهیزات مدرن بازیافت و تراکم کاهش یابد.



شکل ۳- نمودار مقاومت فشاری محدودنشده در برابر زمان [۷]

۳- تراکم: تراکم همیشه باید برای رسیدن به حداکثر مقدار ممکن تحت شرایط غالب در محل باشد. شیب چگالی کاهی اوقات با مشخص‌کردن چگالی متوسط مجاز است. این به این معنی است که تراکم در بالای لایه ممکن است بیشتر از پایین لایه باشد. جایی که مشخص شده است، طبیعی است که حداکثر انحراف ۲% برای تراکم اندازه‌گیری شده در یک سوم ضخامت در پایین‌ترین سطح لایه می‌باشد. از این رو، اگر تراکم متوسط ۱۰۰% باشد، تراکم در انتهای لایه باید بیش از ۹۸% باشد.

۴-۶- مزایا و معایب تثبیت با سیمان

مزایا و معایب تثبیت با سیمان به شرح جدول ۲ است.

جدول ۲- مزایا و معایب تثبیت با سیمان

معایب	مزایا
ترک‌های انقباضی اجتناب‌پذیر هستند، اگرچه می‌توان آنها را کم کرد.	در دسترس بودن: سیمان را می‌توان در سراسر جهان فراهم کرد.
افزایش صلبیت در روسازی‌های انعطاف‌پذیر	هزینه: نسبت به قیر، سیمان ارزان تر است.
نیازمند عمل‌آوری مناسب و حفاظت از ترافیک زود هنگام، به ویژه وسایل نقلیه‌ای که با سرعت آهسته حرکت می‌کنند.	سهولت کاربرد: می‌توان سیمان را در صورت نبودن دستگاه پخش‌کننده، با دست نیز پخش کرد.
	مورد پذیرش واقع‌شده: سیمان در صنعت ساخت و ساز شناخته‌شده‌است. روش‌های استاندارد آزمایش و مشخصات، معمولا در دسترس هستند.
	بهبود قابل توجهی از مقاومت فشاری و دوام بیشتر مصالح

۳- دی‌اکسیدکربن موجود در هوا با هیدروکسید کلسیم موجود در خمیر سیمان در حال هیدراسیون واکنش داده و کربنات کلسیم را تشکیل می‌دهد، این واکنش منجر به کاهش قابل توجه pH بتن (از حدود ۱۳ به ۹.۵)، شده که به کربناته شدن معروف است.
4-Unconfined Compressive Strength 5-Intial Consumption of Lime 6-Intial Consumption of Cement

۵- مواد تثبیت‌کننده قیری

با توجه به پیشـــــرفت‌های تکنولوژی (روش‌های طراحی و روش‌های اجرایی) و مزایای آن (اقتصادی و محیط‌زیستی)، استفاده از قیر به عنوان یک‌ماده تثبیت‌کننده به طور چشمگیری محبوب شده است. اگر چه حالت‌های بسیاری از قیر وجود دارد، تنها دو نوع آن به عنوان عوامل تثبیت‌کننده استفاده می‌شود: امولســـیون قیری و کف‌قیر که هر دو از قیر نسبتا نرم (مانند نفـــــوذ ۸۰) تولید می‌شوند [۷].

قیر، چســـــباننده‌ی چندکاره است که در لایه‌های روسازی به شکل‌های مختلف استفاده می‌شود. از آنجا که قیر ماده‌ای با ویســـکوزیته بالا و در دمای محیط غیر قابل اجرا است، ابتدا باید برای رسیدن به کارایی، ویسکوزیته‌اش کاهش یابد سه راه برای انجام این کار وجود دارد [۷]:

- اعمال حرارت (افزایش دمای قیر و سنگدانه)
- امولسیون در آب برای ایجاد امولسیون‌قیر
- ایجاد کف‌قیر در حالت موقت از ویسکوزیته پایین

مصالح تثبیت‌شده با قیر، از پدیده‌ی ترک‌های انقباضی که در مصـــالح تثبیت‌شده با سیمان به وجود می‌آید، رنج می‌برند. BSM[7]ها ممکن است بلافاصـــله بعد از اجرا، به دلیل افزایش قابل ملاحظه‌ای از پیوستگی، بر روی ترافیک باز شوند. این پیوستگی، تمایل مصـــــالح به عریان شدگی تحت تاثیر ترافیک را کاهش می‌دهد. تثبیت با قیر باعث افزایش مقاومت مصالح می‌شود و اثرات مضر آب را کاهش می‌دهد.

۵-۱- امولسیون قیری

این چسباننده، شامل قیر امولســـیون شده در آب است. قیر در آب، به شکل روغن در آب، در نوع قیر امولســـیونی پراکنده شده است. قیر در سوسپانســـون، توسط ماده امولســـیون کننده نگهداری می‌شود که میزان بار قیر امولســـیونی را تعیین می‌کند. قیر امولســـیون کاتیونی، دارای بار مثبت و قیر امولســـیون آنیونی، دارای بار منفی است. قیر امولسیون در یک کارخانه تخصـــصـــی تولید می‌شود و مدت نگهداری آن چند ماه در بشـــکه است. هنگامیکه یک امولســـیون با سنگدانه مخلوط می‌شود، قطرات قیر به اجزای سنگدانه با تمرکز بر ذرات کوچکتر جذب می‌شوند.

رطوبت و نوع سنگدانه‌ها، در پراکندگی امولسیون‌های قیری و شکستن (جدا کردن قیر از آب) در هنگام مخلوط نقش مهمی ایفا می‌کنند. از آنجایی که امولســـیون‌قیری به عنوان یک عامل روغنکاری عمل می‌کند، شکستن تنها پس از اینکه مصالح فشرده شدند، رخ می‌دهد. مصالح تثبیت‌شده با امولســـیون‌قیری، BSM-emulsion نامیده می‌شوند [۷].

یکی از موضوعاتی که در رابطه با امولسیون‌قیری و درصد رطوبت مصـــالح سنگی باید مورد توجه و ارزیابی قرارگیرد، اندود و پوشـــش قیری ســـنگدانه‌ها اســـت. اگر سنگدانه به اندازه کافی اندود نشـــــده باشد، ابتدا رطوبت آن افزایش می‌یابد که آب اضافی ممکن است موجب قیرزدگی و یا تاخیر در عمل‌آوری و شکســـت امولســـیون گردد، درحالیکه مخلوط‌های با آب کم، پدیده‌های جداشـــدگی دانه‌ها، شـــن‌زدگی و وزن مخصـــوص کم مخلوط را به دنبال دارد و ممکن است با افزایش درجه نفوذ قیر خالص مورد استفاده در تهیه امولسیون، اندود بهبود یابد.

مصـــرف مقادیر خیلی زیاد امولســـیون‌قیری، مخلوطی ناپایدار را نتیجه می‌دهد، درحالی‌که مقادیر کم امولســـــیون قیری نیز موجب شن‌زدگی مخلوط می شود. گلوله‌شدن ریزدانه‌ها نیز پدیده ناشی از زیادی امولســـیون‌قیری یا ریزدانه اضافی در مخلوط است که باید مورد توجه باشد.

امولسیون‌های‌قیری انتخاب‌شده باید با مصالح بازیافتی و مصـــالح سنگی جدید، از نظر کانی‌های تشـــــکیل‌دهنده سنگدانه‌ها سازگاری داشته باشند. سنگ‌های آهکی معمولا بار سطحی مثبت دارند و لذا با امولسیون‌های آنیونیک و سنگ‌های سیلیسی که بـــار سطحی منفی دارند و در نتیجـــه با امولســـیون‌هـــای کاتیونیک، سازگار می‌باشند. بنابراین امولســـیون‌های‌قیری باید بر اساس نوع بار سطحی سنگدانه‌ها انتخاب شوند [۷].

جدول ۳- سازگاری بین امولسیون‌قیری و سنگدانه‌ها [۷]

Bitumen emulsion type/aggregate type compatibility			
Emulsion Type	Aggregate (Rock) Type	Trends	
		Breaking rate	Adhesion
Anionic	Acidic	Slow	Poor
Anionic	Alkaline	Medium	Good
Cationic	Acidic	Fast	Excellent
Cationic	Alkaline	Fast	Good

۵-۲- کف‌قیر

وقتی به قیر خالص داغ تحت شرایط کنترل‌شده و مشـــخص، مقدار معینی آب سرد (با دمـــای ۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه ســـانتی گراد) تزریق شـــود، کف‌قیر تولید می‌شـــود. کف‌قیر حاصله دارای خواص زیر است [۸]:

- کندروانی قیر شدیدا کاهش می‌یابد.
- افزایش حجمی تا ۱۵ برابر نسبت به حجم قیر اولیه ایجاد می‌شود.
- تنش سطحی قیر کاهش می‌یابد.

این خواص موجب می‌شود تا بتوان کف‌قیر را با مصـــــالح سنگی سرد و مرطوب مخلوط نمود که مخلوط‌حاصله دارای خصوصیات زیر می‌باشد:

- صرفه‌جویی در مصرف انرژی در مقایسه با مخلوط‌های آسفالت گرم.
- مناسب جهت اختلاط با انواع متفاوت مصالح خرده‌آسفالتی و سنگی سرد.
- افزایش انعطاف‌پذیری و مقاومت در مقابل خستگی.
- امکان‌پخش و کوبیـــدن مخلوط‌حاصـــــله و تکمیل عملیات مربوطه بدون محدودیت‌های عمل‌آوری و تبخیر آب مخلوط.
- حساسیت کمتر در برابر رطوبت در مقایسه با مخلوط‌های امولسیون‌قیر.
- حفظ‌کارایی و تراکم‌پذیری مخلوط تا ۳۸ ســـــاعت بعد از تولید برای انبارکردن، جابجایی و اختلاط مجدد آن.

برای تولید کف‌قیر، از قیر خالص با درجه نفوذ ۲۰۰ - ۴۰ استفاده می‌شود. قیرهای با درجه نفوذ بالاتر تمایل بیشـــتری به کف‌کردن دارند و قیرهای با درجه نفوذ کمتر، مخلوط آسفالتی با سفتی بیشتر تولید می‌کنند. اگرچه استفاده از قیرهای نرم‌تر و یا سخت‌تر از محدوده فوق نیز نتایج رضایت‌بخشـــی ارائه می‌کند، اما توصیه می‌شود که از قیرهای با درجه نفوذ ۱۰۰ استفاده شود. در عمل برای جلوگیری از انســـداد و گرفتـــــگی نازل‌های پخش کف‌قیر دستگاه بازیافت سرد، قیرهای سفت مصـــــرف نمی‌شود [۷].

۵-۲-۱- فرآیند تولید کف‌قیر

هر قیرداغی که در تماس با آب سرد قرار گیرد به سرعت منبســـط شده و به صورت کف در می‌آید. سیســـتم‌هـــای جدید تولید کف‌قیر، از یک محفظه انبســـاط تشـــکیل شده‌اند که در آن مقدار کمی آب (۲ تا ۳ درصد وزن قیر)، تحت فشار به صورت پودر و شبیه مه، به جریان باریکی از قیر افزوده می‌شـــود. لحظه‌ای که ذرات آب ســـرد (با دمای محیط)، با قیرداغ (دمای ۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه ســـانتی گراد)، تماس پیدا می‌کند مراحل زیر به وقوع می‌پیوندد [۸].

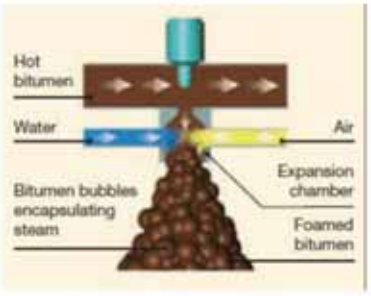
- با تبدیل انرژی بین قیر و آب، ضـــمن کاهش دمای قیر، ذرات آب تا دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد گرم می‌شوند.
- انرژی مبادله‌شده، بیشتر از گرمای نهان آب برای تبدیل به بخار می‌باشد. از این‌رو طی واکنش سریع، آب بخارشده و تحت فشـــار موجود در محفظه انبســـاط به داخل ساختار پیوسته قیر نفوذ می‌کند.
- به هنگام خروج قیر از نازل پخش، بخار محبوس در آن منبســـط می‌شود و کشـــش سطحی جدار نازکی از قیر سرد، حباب بخار را محافظت می‌کند.
- انبســـاط بخار روند نزولی دارد و فشـــار رو به کاهش ناشی از آن، توسط کشـــش

7-Bitumen Stabilised Materials

سطحی جدار نازک قیر خنثی می‌شود تا به مرحله تعادل برسد.

- با توجه به پایین‌بودن قابلیت انتقال حرارتی قیر و آب، کاهش دمای بخار و انقباض آن نیازمند زمان است. لذا حباب تشکیل‌شده برای مدتی از زمان که بر حسب ثانیه سنجیده می‌شود، پایدار می‌ماند.

حجم زیاد حباب‌های تولیدشده در یک لحظه و انباشته‌شدن آنها بر روی‌هم، منجر به تولید توده‌ای سیریش‌مانند به نام کف‌قیر می‌شود.



شکل ۴- تولید کف‌قیر [۷]

۵-۲-۲- زوال[8] کف‌قیر

زوال حباب‌های کف قیر با گذشت زمان، نشست یا شکست نامیده می‌شود. از جمله عواملی که بر اساس مشاهدات و تجارب آزمایشگاهی منجر به این پدیده می‌گردد، می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد [۷]:

·با کاهش دمای بخار محبوس در حباب‌های قسمت‌های مرزی توده سیریشی مانند که در تماس با ظرف یا هوای محیط هستند، فشار بخار درون حباب کاهش یافته و کشش سطحی جدار نازک قیر بر آن غلبه می‌کند. این پدیده در مورد حباب‌های بزرگتر که از نظر تئوری دارای همان کشش سطحی هستند سریع‌تر اتفاق می‌افتد، چرا که این حباب‌ها سطح جانبی بزرگتری دارند و سریعا دچار کاهش دما می‌شوند. در نتیجه با غلبه تنش‌سطحی بر فشار بخار داخلی پیوسته قیر، حباب‌ها اضمحلال می‌یابند و کف نشست می‌کند.

- ممکن است نره‌آب در ابتدای شکل‌گیری حباب قیر به اندازه‌ای بزرگ باشد که فشار بخار درون حباب باعث نازک شدن بیش از حد جدار قیری و ترکیدن آن شود. در چنین مواردی بخار محبوس در حباب آزاد می‌شود و به دلیل سرد شدن قیر و فقدان انرژی لازم، مابقی نره‌آب موجود هم، توانایی تولید بخار و تشکیل مجدد حباب را ندارد، لذا کف قیر نشست می‌کند.

۵-۲-۳- مشخصات کف قیر

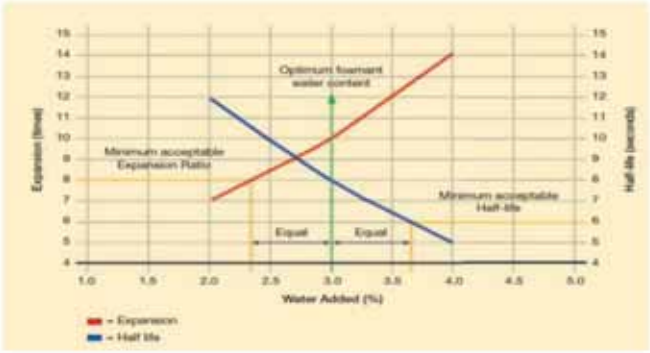
درجه نفوذ قیر خالص تنها مشخصه تعیین کننده انتخاب قیر خالص برای تولید کف قیر نیست. دو خاصیت مهم کف قیر عبارتند از [۸،۷]:

الف: نسبت انبساط: بر حسب نسبت حداکثر حجم قیر در حالت کف به حجم قیر پس از محوشدن کف قیر تعریف می‌شود و تعیین‌کننده چگونگی توزیع قیر در مخلوط است.

ب: نیمه عمر: مدت‌زمانی که حداکثر حجم کف نصف می‌شود (بر حسب ثانیه) که معرف پایداری کف قیر و سرعت محوشدن آن در مدت اختلاط قیر و مصالح سنگی است.

دو مشخصه فوق به نوع و درجه نفوذ قیر انتخاب شده، مقدار آب تزریق شده به قیر داغ و درجه حرارت قیر هنگام تولید کف بستگی دارد. هرچه نسبت انبساط افزایش یابد، کندروانی قیر کمتر و اختلاط مصالح و کف قیر بهتر انجام می‌شود. همچنین هر چه‌زمان نیمه عمر زیادتر باشد، فرصت بیشتری برای اختلاط کف قیر و مصالح وجود دارد، ضمن اینکه مطابق با شکل ۵، رفتار این دو متغیر عکس یکدیگر است. به عبارت دیگر، نسبت انبساط وقتی زیاد می‌شود که مقدار آب افزایش یابد در حالی‌که هر چقدر مقدار آب افزایش یابد نیمه عمر کوتاه‌تر خواهد شد.

8-Decay



شکل ۵- مشخصات کف قیر به ازای تغییرات میزان آب مصرفی برای تعیین آب بهینه [۷]

Foamed Bitumen Characteristics (Minimum Limits)		
Aggregate Temperature	10 °C to 15 °C	Greater than 15 °C
Expansion Ratio, ER (times)	10	8
Half-life, $\tau_{1/2}$ (seconds)	8	6

جدول ۴- مشخصات کف قیر (حداقل محدودیت‌ها) [۷]

۵-۳- مکانیزم خرابی مصالح تثبیت‌شده با قیر

شرایط خاص پروژه (به عنوان مثال مصالح موجود، مواد تثبیت‌کننده، آب و هوا، ترافیک، لایه‌های تقویتی، تکنیک‌های اجرایی و غیره)، همه در عملکرد مصالح نقش بازی می‌کنند و موجب خرابی می‌شوند. BSMها باید به طور مناسب با توجه به شرایط خاص هر پروژه انتخاب شوند. با تغییر نسبت مصالح مادر، مخلوط کردن سنگدانه‌ها، قیر و فیلر فعال، ممکن است یک ترکیب BSM ایجاد شود که با ویژگی‌های رفتاری خاص مطابقت داشته باشد [۷].

دو مکانیسم شکست اساسی BSM وجود دارد که باید مورد توجه قرار گیرد:

- تغییر شکل‌های یک‌نواخت: این جمع‌شدگی تغییر شکل برشی (کرنش پلاستیک) در نتیجه‌ی تکرار بارگذاری است و وابسته به خواص برشی مصالح و تراکم به دست آمده از آنهاست. مقاومت در برابر تغییر شکل دائمی (شیارشدگی)، توسط عوامل زیر افزایش می‌یابد:

- افزایش مقاومت مصالح، گوشه‌داری، شکل، سختی و زبری
- افزایش حداکثر اندازه‌ذرات
- بهبود تراکم (تراکم پروژه)
- میزان رطوبت کاهش‌یافته (عمل‌آوری)
- اضافه‌کردن یک مقدار محدود قیر، معمولا کمتر از ۳% است. مقدار قیر زیاد باعث ناپایداری ناشی از اثر روغنکاری بیش از حد قیر و کاهش زاویه اصطکاک داخلی می‌شود.
- اضافه‌کردن فیلر فعال، محدود به حداکثر ۱% . میزان کاربرد بالای فیلر فعال باعث ایجاد شکنندگی می‌شود که موجب ترک انقباضی و ترک ناشی از ترافیک می‌شود.

- حساسیت رطوبتی: حساسیت رطوبتی، خرابی ناشی از قرار گرفتن BSM در معرض رطوبت بالا و فشار آب منفذی ناشی از بارهای چرخ است که موجب از دست رفتن چسبندگی بین قیر و سنگدانه می‌شود. مقاومت در برابر رطوبت توسط عوامل زیر افزایش می‌یابد:

- افزایش مقدار قیری، محدود به عوامل پایداری و پیامدهای هزینه
- اضافه‌کردن فیلر فعال (حداکثر ۱%)
- تراکم پروژه بیشتر از طریق بهبود تراکم
- تثبیت مصالح با درجه‌بندی یکنواخت

۵-۴- تعیین عملکرد اولیه مصالح تثبیت‌شده با قیر

عملکرد لایه روسازی ساخته‌شده از BSM عمدتا توسط عوامل زیر تعیین می‌شود [۷]:

-کیفیت و سازگاری مصالح مادر (همراه با هر ماده ترکیبی) که تثبیت‌شده است.

- کیفیت و سازگاری عامل تثبیت‌کننده قیر و پرکننده فعال استفاده شده
- مقدار عامل تثبیت‌کننده قیر / پرکننده فعال و اثربخشی مخلوط
- تراکم به دست آمده در پروژه با استفاده از تراکم مناسب
- ضخامت و یکنواختی لایه ساخته شده

علاوه بر این، ویژگی‌های کلیدی روسازی موجود در زیر لایه بازیافتی، بر لایه BSM تاثیر می‌گذارد. هر دو در ویژگی‌های ساخته‌شده (به خصوص تراکم) و عملکرد کلی روسازی ناشی از عوامل زیر تاثیر دارند:

- کیفیت و یکنواختی لایه‌های تقویتی زیرین (ترکیب روسازی)
- شرایط آب و هوایی غالب (گرم / سرد، مرطوب / خشک)
- اثربخشی مقررات زهکشی بر رطوبت تعادل در تمام مصالح روسازی، از جمله BSM

۵-۵- ویژگی مصالح تثبیت‌شده با قیر

کیفیت و ترکیب مصـــالح بازیافت شده از روسازی موجود می‌تواند به طور قابل توجهی متفاوت باشد. چنین تغییراتی ناشی از [۷]:

- ساخت و اجرای روسازی موجود (مصالح در لایه‌های مختلف و ضخامت آن‌ها)
- تنوع ساختاری (کیفیت مصالح و ضخامت)
- عمق بازیافت (لایه‌های اضافی ممکن است در لایه بازیافتی به عنوان عمق افزایش یابد)
- عمر روسازی (مخصوصا برای مصالح ترمیم شده و در معرض هوازدگی)
- درجه لکه‌گیری و تعمیر روسازی موجود
- ضخامت و ماهیت مصالح پوشش‌دهنده قدیمی (مانند آسفالت و یا پرکننده‌ها)

علاوه بر این، حداکثر اندازه ذرات و مقدار مصـــالح درشت دانه نقش مهمی در دستیابی به تراکم کافی در پروژه دارد. حداکثر اندازه ذرات باید به ضـخامت لایه (یعنی ۵۰ میلی متر برای یک لایه با ضخامت ۱۵۰ میلیمتر) محدود شـود و به عنوان یک راهنمای کلی، مقدار مصـــالح باقی مانده در الک ۵۰ میلیمتر، نباید بیش از ۱۰ درصد باشد [۷].

- مصـــالح RAP: بعضـی از پروژه‌ها مقدار زیادی از مصـالح RAP را در بازیافت لایه‌های خود استفاده می‌کنند (بیش از ۹۰ درصد مصـالح بازیافت‌شده). در چنین مواردی، تأثیر پیرشدگی قیر در RAP، باید به دقت مورد توجه قرار گیرد، به ویژه در شرایط آب و هوایی گرم که انتظار می‌رود ترافیک سنگین باشد. در چنین شـرایطی، جنبه‌های زیر باید مورد توجه قرار گیرند:

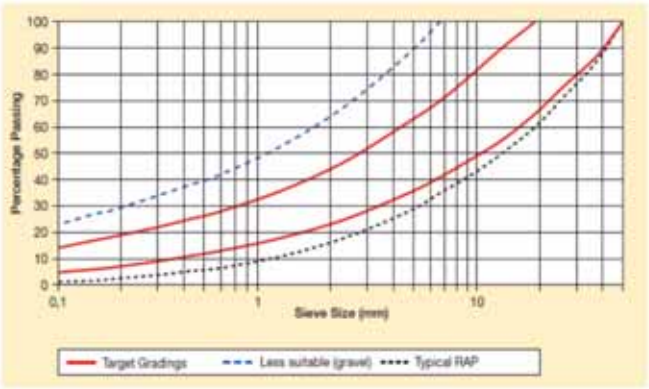
-آب و هـوای منطقه: در هـوای گـــرم، خـواص برشی مخلوط باید از آزمایشـات سه‌محوری انجام‌شده در دمای مشخص تعیین شود.

-بارهای محور واقعی: جایی که یک لایه BSM برای اســـتفاده در ناحیه‌ای که در کنترل وزن محور محدودیت وجود دارد، تنش‌های شدید ناشی از بار سـنگین ممکن است باعث افزایش تغییر شکل شـود. این مورد باید در هنگام تجزیه و تحلیل خواص برشی مورد توجه قرار گیرد.

-ترکیب مصـــالح با RAP: در مناطق گرم با کنترل محدودیت وزن محور، RAP باید همیشـــه با ترکیب ۱۵ تا ۲۵ درصد فیلرشکننده اصـــلاح شود. این یک ساختار ماسه‌ای دانه‌ای برای بهبود مقاومت برشی مخلوط است.

منحنی دانه‌بندی و شـــاخص خمیری (PI)، به عنوان شـــاخص برای تعیین اینکه تثبیت‌قیر موثر است، استفاده می‌شود. اگر چه شاخص CBR را می‌توان برای تخمین این دو ویژگی مصـــالح استفاده کرد، اما توصیه می‌شود آزمایش CBR خیس‌شده ۴ روزه انجـــام شود، زمانی که کیفیت مصـــالح برای کاربرد مورد نظر درنظر گرفته می‌شود [۷].

- دانه‌بندی: تحلیل الک بر روی نمونه‌های شاهد از مصـــــالح تثبیت‌شده با قیر، نشـان‌دهنده اثر مثبت چنین مصـالح در تثبیت است. نمودار ۶ و جدول ۵ نشـــانگر دانه‌بندی توصیه شده برای مصالح تثبیت‌شده با کف قیر یا امولسیون‌قیری است.



شکل ۶- منحنی دانه‌بندی هدف برای مصالح تثبیت‌شده با قیر [۷]

Recommended grading envelops for bitumen stabilisation

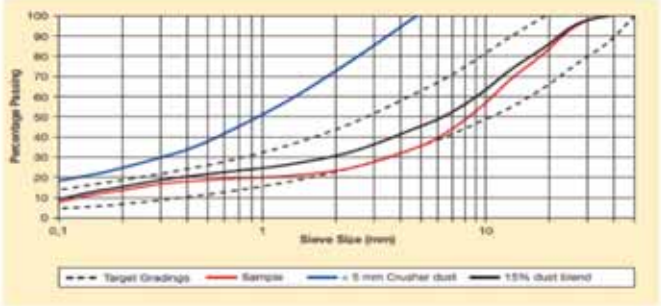
Sieve size (mm)	Treatment with Foamed Bitumen				Treatment with Bitumen Emulsion			
	Percentage passing each sieve size (%)				Percentage passing each sieve size (%)			
	Recommended gradings		Less suitable (Gravel)	Typical RAP grading	Recommended gradings		Less suitable (Gravel)	Typical RAP grading
	Coarse	Fine			Coarse	Fine		
50	100	100	100	100	100	100	100	100
37.5	87	100	100	85	87	100	100	85
26.5	76	100	100	72	76	100	100	72
19	65	100	100	60	65	100	100	60
13.2	55	90	100	50	55	90	100	50
9.5	48	80	100	42	48	80	100	42
6.7	41	70	100	35	41	70	100	35
4.75	35	62	88	28	35	62	88	28
2.36	25	47	68	18	25	47	68	18
1.18	18	36	53	11	18	36	53	10
0.6	13	28	42	7	12	27	42	6
0.425	11	25	38	5	10	24	38	4
0.3	9	22	34	4	8	21	34	3
0.15	6	17	27	2	3	16	27	1
0.075	4	12	20	1	2	10	20	0

جدول ۵- دانه‌بندی توصیه‌شده برای مصالح تثبیت‌شده با قیر [۷]

مخلوط: مصـالح با منحنی دانه بندی که خارج از محدوده ی دانه بندی توصیه شده قرار دارند (محدوده منحنی هدف)، می توانند به طور معمول تثبیت شـــوند، اگر شرایط زیر را تامین کنند [۷]:

- مصالح ریزدانه: دارای شاخص خمیری کمتر از ۱۰ باشد.
- مصـــالح درشت دانه: مصـــالحی که عمدتا شامل RAP یا چیپ سیل بازیافت شده است.

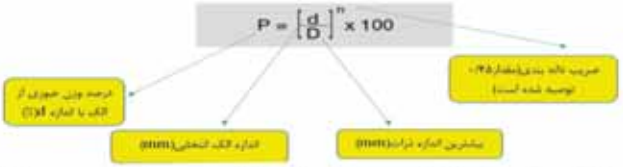
مصـالح ریزدانه‌تر، تقاضای قیر بالاتری دارند، در حالی که مصـالح درشت دانه تر، مستعد جدا شدن هستند و کار کردن با آنها بسیار دشوار است.



شکل ۷- منحنی دانه‌بندی مخلوط برای تصحیح دانه‌بندی ضعیف [۷]

هنگام انتخاب اجزا مختلف مصـــالح در یک مخـــلوط، معادله زیر برای تعیین نسـبت‌های مورد نیاز مفید است. این معادله کمک می‌کند بهترین دسته‌بندی ذرات و

حداقل حفرات (پس از تراکم)، توسط محاسبه مقدار مورد نیاز برای هر اندازه ذرات به دست آید [۷].



- شاخص خمیری: حالت خمیری در مصالح به دلیل وجود ذرات رسی در ریزدانه است. مطابق استاندارد آزمایشگاهی، شاخص خمیری (PI) مصالح، از ذرات عبوری از الک ۴۲۵ / ۰ میلیمتر تعیین می شود و یک شاخص اولیه برای حساسیت رطوبتی مصالح است.

مقدار PI بیشتر، نشان دهنده مقدار رس بیشتر در مصالح است. به دلیل شکل و اندازه ذرات، رس دارای قابلیت حفظ رطوبت در سطح نسبتا بالایی است. در چنین وضعیت مرطوب، رس بسیار چسبنده است، به این معنی که ذرات با هم مانند کلوخه متصل می‌شوند. بازیافت مصالح با شاخص خمیری بالا لزوما این ذرات را از هم جدا نمی‌کند و در لایه جدید باقی خواهند ماند [۷]. اگر نتایج آزمایش نشان‌دهنده PI کمتر از ۱۰ باشد، تثبیت باید با آهک هیدراته انجام شود. در این روش تثبیت، با جداسازی ذرات رسی، مصالح را اصلاح می‌کنند و از این طریق سبب کاهش حالت خمیری می‌شوند.

دمای مصالح: در زمان مخلوط کردن مصالح با یک ماده تثبیت‌کننده قیری، دمای مصالح باید به اندازه کافی بالا باشد چراکه نقش مهمی در تعیین کیفیت مخلوط دارد [۷].

مصالح تثبیت‌شده با امولسیون قیری: مصالح با دمای ۱۰ درجه سانتیگراد یا بالاتر را می‌توان با امولسیون قیر بدون توزیع قیر در مخلوط تثبیت‌شوند.

مصالح تثبیت‌شده با کف قیر: دمای مواد، تاثیر قابل توجهی بر میزان پراکندگی و خواص مخلوط دارد. اختلاط با دمای مصالح کمتر از ۱۰ درجه سانتیگراد نباید انجام شود. در مواردی که درجه حرارت مصالح بین ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتیگراد باشد، مخلوط کردن باید فقط با کف قیر با کیفیت عالی تولید شود [۷].

جدول ۶- مقایسه بین روش‌های مختلف تثبیت‌قیر [۷]

توجه: جدول به علت کمبود فضا در انتهای مطلب بعد از منابع می‌باشد

۶-۵- مزایا و معایب تثبیت با قیر

مزایا و معایب تثبیت با قیر به شرح جدول ۷ است.

جدول ۷- مزایا و معایب تثبیت قیر

توجه: جدول به علت کمبود فضادر انتهای مطلب بعد از منابع می باشد

۶- تثبیت با آهک

تثبیت خاک با آهک سبب بهبود کیفیت و مشخصات فنی خاک و تسریع در انجام عملیات راهسازی می‌شود. تجربه نشان داده است که افزودن آهک به خاک‌های ریزدانه مرطوب نه تنها موجب بروز چندین واکنش شیمیایی بین خاک و آهک می‌شود، بلکه باعث می‌شود که مخلوط تولیدشده دارای مقاومت باربری بیشتر، قابلیت تراکم و جابه جایی بهتر، درصد انقباض و خاصیت خمیری کمتر نسبت به خاک طبیعی اولیه باشد [۹]. آهک اصولاً برای تثبیت خاک‌های رسی خیلی خمیری (PI>۳۵) مناسب‌تر است و اثر آن بر خاک‌هایی که ریزدانه کمی دارند، کمتر است. در ضمن آهک برای تثبیت خاک‌هایی که حاوی مقدار زیادی مواد آلی هستند مناسب نیست. آزمایشات انجام‌شده بر روی خاک‌های آلی نشان داده است که اگر به اندازه ۲۰ درصد وزن خشک خاک، گچ به آهک زنده یا آهک شکفته اضافه شود می‌توان خاک‌های آلی را نیز با آهک تثبیت کرد، مشروط بر آنکه رطوبت طبیعی اینگونه خاک‌ها خیلی زیاد نباشد [۱۰]. ترکیب آهک با خاک‌های واکنش‌دار باعث می‌شود که خواص مکانیکی خاک شامل مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی، مقاومت در برابر انبساط و انقباض، مقاومت در برابر خستگی و مقاومت در مقابل عوامل جوی نظیر یخبندان، ذوب و یخ، چه در زمان گیرش اولیه و یا پس از عمل‌آمدن مخلوط، به مرور زمان افزایش یابد [۴].

۶-۱- خصوصیات و ویژگی‌های فنی خاک‌های تثبیت‌شده با آهک

۶-۱-۱- شاخص خمیری

با توجه به کاهش رطوبت خاک که ناشی از واکنش تبادل‌های یون‌های خاک و آهک است و نیز به علت رفتار دانه‌ای ذرات رس، در اکثر موارد اضافه کردن آهک به خاک، سبب کاهش خصوصیات خمیری (کاهش دامنه‌ی خمیری و حد روانی و افزایش حد خمیری و حد انقباض) آن می‌شود. اضافه کردن آهک به یک خاک معمولا باعث کاهش دامنه خمیری و افزایش PH خاک می‌شود. کاهش دامنه خمیری و همچنین افزایش PH خاک را می‌توان به عنوان عواملی برای مناسب بودن خاک جهت تثبیت با آهک در نظر گرفت. کاهش خصوصیات خمیری خاک موجب می‌شود که کارکردن با خاک اصلاح شده با آهک آسان‌تر شده و جابه جا کردن آن در کارگاه ساده‌تر انجام شود [۱۱].

۶-۱-۲- تراکم

مشخصات مربوط به تراکم مخلوط‌های خاک و آهک عبارتند از:

در مواردی که هدف از تثبیت خاک، افزایش مقاومت خاک باشد، برای دوام بیشتر مصالح تثبیت‌شده لازم است که در یک انرژی تراکم معین، درصد فضای خالی مخلوط به حداقل ممکن کاهش داده شود تا چنانچه مخلوط در معرض رطوبت زیادی قرار گرفت، کاهش مقاومت چندانی نداشته باشد. فضای خالی کمتر، باعث کاهش کربناته شدن و وزن مخصوص بیشتر، باعث بیشتر شدن مقاومت خاک تثبیت‌شده با آهک می‌شود. مطالعات برخی از محققین نشان داده است که برای هر ۱ درصد افزایش در وزن مخصوص خاک‌های تثبیت‌شده با آهک، ۱۰ درصد به مقاومت آنها افزوده می‌شود [۱۲].

خاک تثبیت‌شده با آهک دارای وزن مخصوص خشک کمتر و درصد رطوبت بهینه بیشتری از خاک تثبیت نشده است. هر اندازه میزان آهک مصرفی برای تثبیت خاک بیشتر باشد، این اختلاف نیز بیشتر خواهد بود. ضمناً هر اندازه با گذشت زمان مواد چسباننده بیشتری در خاک تثبیت‌شده تشکیل شود، حداکثر وزن مخصوص مصالح کمتر و درصد رطوبت بهینه بیشتر خواهد بود [۱۵,۱۴,۱۳,۱۲,۱۱,۱۰,۲,۱].

۶-۱-۳- تغییر حجم

اصلاح خاک‌های رسی با آهک باعث می‌شود که از قابلیت تورم این نوع خاک‌ها کاسته شود. قابلیت تورم توده‌ای از خاک، علاوه بر جنس و خواص مکانیکی آن بستگی به عمق توده خاک و درصد رطوبت آن دارد [۱۷,۱۶,۱۰]. به عبارت دیگر، خاک قابل تورمی که در لایه تحت‌الارضی پایین‌تری قرار دارد، به دلیل آنکه وزن خاک روی آن بیشتر است، انبساط حجمی کمتری نسبت به همان خاک دارد که در لایه تحت‌الارضی بالاتری است. علاوه بر آن قابلیت تورم‌پذیری یک خاک، بستگی به ظرفیت تبادل یون مثبت آن دارد که آن نیز به نوبه خود تابعی از نوع کانی‌های رسی موجود در خاک است. کاهش تورم‌پذیربودن خاک به این علت است که تمایل به جذب آب رس اشباع‌شده با کلسیم کاهش یافته و یک ملات سفت شده که می‌تواند در مقابل انبساط مقاومت کند تولید می‌شود [۱۶].

معمولاً خاک‌های رسی با دامنه خمیری بزرگتر از ۲۵ و حد روانی بیشتر از ۴۰ که بیش از ۸۰ درصد وزنی آنها از الک شماره ۲۰۰ عبور کرده و حاوی بیش از ۲۰ درصد مواد ریزتر از ۲ میکرون بوده و رطوبت طبیعی آنها نزدیک حد خمیری است، خاک‌های با قابلیت تورم زیاد هستند [۴]. تشخیص تورم‌پذیربودن خاک با انجام آزمایش تحکیم بر روی نمونه‌های دست نخورده خاک و تحت فشاری برابر با فشار خاک در محل انجام می‌شود. یکی از روش‌های کنترل تورم خاک‌های قابل تورم، استفاده از آهک است. با اضافه کردن آهک به اینگونه خاک‌ها، می‌توان میزان تورم آنها را از ۶ تا ۱۲ درصد، به حدود ۱ / ۰ تا ۲ / ۰ درصد کاهش داد [۲]. اگر تورم خاک به دلیل وجود مواد آلی یا گچ آبدار باشد، آهک گزینه مؤثری نخواهد بود و بهتر است که اینگونه خاک ها تعویض شوند و مواد یا ماده تثبیت کننده دیگری مورد بررسی قرار گیرد.

۶-۱-۴- مقاومت آنی و درازمدت

ویژگی‌های مربوط به مقاومت-شکل‌پذیری خاک‌های تثبیت‌شده با آهک تابع متغیرهای زیادی است که مهمترین آنها عبارتند از: نوع و جنس خاک، نوع و درصد آهک، وزن مخصوص، شرایط عمل‌آوردن (زمان و درجه حرارت) مخلوط خاک و آهک [۱۲،۹،۲،۱]. برای مثال آزمایش‌های انجام‌شده نشان داده است هنگامی‌که رس‌های مونتموریونیت با آهک دولومیتی تثبیت‌شده‌اند مقاومت کمتری نسبت به زمانی که با آهک دارای کلسیم بالا یا آهک شکفته تثبیت‌شده‌اند، داشته‌اند. همین آزمایش‌ها نشان داده است که رس‌های کائولینیتی هنگامی‌که با آهک شکفته تثبیت‌شده اند، بیشترین مقاومت را داشته و هنگامیکه با آهک با کلسیم بالا مخلوط شده‌اند، کمترین مقاومت را از خود نشان داده‌اند [۱۰].

ارزیابی ویژگی‌های مربوط به مقاومت شکل‌پذیری خاک‌های تثبیت شده با آهک می‌تواند با انجام آزمایش‌های مختلفی انجام شود که متداول‌ترین این آزمایش‌ها، آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) آزمایش تک محوری، آزمایش کشش غیرمستقیم، آزمایش سه‌محوری و آزمایش خمشی است [۱۲،۹،۲،۱].

۶-۱-۵- دوام

دوام روسازی‌هایی که شامل یک یا چند لایه خاک تثبیت‌شده با آهک هستند برای ارزیابی عملکرد کوتاه مدت و درازمدت این روسازی‌ها عامل مهمی است. معمولا مقاومت باربری خاک‌های بستر تثبیت‌شده با آهک، بیشتر از خاک بستر طبیعی روسازی‌ها بوده و همین امر سبب می‌شود که ضخامت لایه‌های اساس و زیراساس و در نتیجه ضخامت کل روسازی کاهش یابد. به همین دلیل آزمایش‌های متعددی برای ارزیابی دوام خاک‌های تثبیت‌شده با آهک در برابر تکرار یخبندان-ذوب یخ انجام شده است. نتایج این آزمایش‌ها نشان داده است که تأثیر درازمدت رطوبت بر این مصالح خیلی شدید نیست و نسبت مقاومت فشاری نمونه‌های اشباع شده در آب به مقاومت فشاری اشباع نشده آنها بین ۰/۷ تا ۰/۸۵ متغیر است. نتایج همین آزمایش‌ها نشان داده است که درجه اشباع این مصالح بین ۹۰ تا ۹۵ درصد بوده و به ندرت به ۱۰۰ درصد می‌رسد [۲].

خاک‌هایی که دارای واکنش خوبی با آهک هستند معمولاً دوام خوبی از خود نشان می‌دهند و به طور کلی برخی از مخلوط‌های تثبیت‌شده با آهک، خاصیت بازیافت مقاومت ازدست‌رفته در اثر یخبندان-ذوب یخ را دارند. این مخلوط‌ها در شرایطی که گرما و رطوبت محیطی برای عمل‌آمدن مجدد آنها مساعد باشد خاصیت خودترمیمی دارند و مقاومت ازدست رفته را به دست آورده و به مرور زمان افزایش مقاومت پیدا می‌کنند. در نتیجه تأثیر تعداد دفعات یخبندان-ذوب یخ بر دوام آنها کمتر است [۲].

اضافه کردن آهک به خاک‌هایی که دامنه خمیری آنها زیاد است باعث می‌شود که اینگونه خاک‌ها مقاومت خوبی داشته و در برابر تر و خشک‌شدن دوام نسبی بهتری داشته باشند [۱۰]. آزمایش‌های انجام‌شده بر روی خاک‌های خمیری (۷۷ تا ۶۴ = PI)، نشان داده است که نمونه‌های تثبیت‌شده با آهک از دوام نسبی خوبی در برابر تر و خشک‌شدن برخوردار هستند.

۶-۱-۶- عوامل مضر بر مقاومت خاک‌های تثبیت‌شده با آهک

واکنش‌های پوزولانی آهک به محیطی که در آن واکنش خاک و آهک انجام می‌شود بسیار حساس هستند. تغییرات خیلی کم در ترکیبات شیمیایی خاک یا مواجه شدن با ترکیبات زیان‌آوری که بعد از سخت شدن رخ می‌دهند می‌توانند اثرات زیادی بر روی مقاومت مواد تثبیت‌شده با آهک داشته باشند [۱۲].

۷- فیلر فعال

عامل فیلر فعال برای تعیین پرکننده‌هایی که خواص مخلوط را به طور شیمیایی تغییر می‌دهند استفاده می‌شود. انواع فیلر فعال مورد استفاده در BSMs عبارتند از [۷]: سیمان (انواع مختلف سیمان، اما نه سیمانی که سریع دچار سخت شدگی می‌شود)، آهک، خاکستر بادی.

اهداف اضافه‌کردن فیلر فعال در مصالحی که با قیر تثبیت می شوند عبارتند از:

- چسبندگی قیر به سنگدانه را افزایش می‌دهد.
- منجر به پراکندگی قیر در مخلوط می‌شود.
- حالت خمیری مصالح طبیعی را تغییر می‌دهد (کاهش شاخص خمیری).
- سختی مخلوط و میزان مقاومت را افزایش می‌دهد.
- عمل‌آوری مخلوط متراکم شده را سرعت می‌بخشد.

انتخاب نوع فیلر فعال، به دردسترس بودن، هزینه و موثر بودن آن در ترکیب با مصالح بستگی دارد. هنگامی‌که سیمان استفاده می‌شود، میزان مصرف باید حداکثر به ۱% وزن خشک مصالح محدود شود. هنگام استفاده از آهک هیدراته، میزان مصرف ممکن است به ۱.۵% (یا بیشتر) افزایش یابد، جایی‌که آهک برای اصلاح حالت خمیری مورد نیاز است [۲].

جایی‌که فیلرهای فعال استفاده می‌شوند، تاخیر زمانی بین اختلاط فیلر فعال با مصالح و استفاده از کف قیر یا امولسیون‌قیر باید به حداقل مقدار (در آزمایشگاه و پروژه)، کاهش یابد. واکنش فیلر فعال بلافاصله پس از تماس با مواد مرطوب شروع می‌شود که باعث افزایش چسبندگی بین ذرات ریزدانه می‌شود. طولانی‌تر شدن زمان بین اختلاط مجدد با فیلر فعال و استفاده از قیر، منجر به کاهش درصد ریزدانه‌های موجود برای پراکنده کردن قیر در مخلوط تثبیت‌شده با قیر می‌شود [۷].

مصالح تثبیت‌شده با امولسیون‌قیری:

- کنترل زمان شکست
- در بعضی موارد بهبود کارایی

مصالح تثبیت‌شده با کف قیر:

- کمک به پراکنده کردن قیر به صورت تراشه

۸- ملاحظات اقتصادی

ارزیابی و مقایسه اقتصادی کلیه طرح‌هایی که از نظر فنی قابل قبول هستند و همچنین برنامه زمان‌بندی اجرای آنها باید متناسب با شرایط در نظرگرفته‌شده برای توسعه منطقه انجام شود تا بازگشت حداکثر سود از سرمایه هزینه‌شده تضمین گردد. برای ارزیابی و مقایسه اقتصادی کلیه طرح‌هایی که از نظر فنی قابل قبول هستند، معمولا دو نوع مخارج وجود دارند. این مخارج که عبارتند از مخارج مستقیم و مخارج غیرمستقیم، معمولا برای ساختن هر کیلومتر از روسازی محاسبه می‌شوند. مخارج مستقیم شامل مخارج مرمت‌ها و مخارج بهسازی و نگهداری روسازی می‌شود. مخارج غیرمستقیم شامل مخارجی می‌شود که استفاده کنندگان از راه، به علت خرابی روسازی و اثرات ناشی از آن در طول عمر مفید روسازی متحمل می‌شوند. این مخارج از صدمه‌رسیدن به وسایل نقلیه، تصادفات احتمالی، اتلاف وقت (در اثر بسته شدن موقت راه برای مرمت خرابی ها و بهسازی روسازی و همچنین مزاحمت‌های ناشی از آن)، مصرف سوخت و کارکرد وسیله نقلیه، راحت نبودن سرنشینان وسیله نقلیه و نظایر آن ناشی می‌شود. این مخارج بستگی به نوع و شدت خرابی‌های روسازی، نوع راه، حجم ترافیک، نوع وسیله نقلیه، سرعت حرکت و غیره دارد.

بسیاری از سازمان‌های متولی راهسازی به دلیل کمبود اطلاعات در زمینه مخارج غیرمستقیم و یا به دلیل اینکه این مخارج توسط آنها پرداخت نمی‌شود، مخارج استفاده‌کنندگان از راه را برای تحلیل اقتصادی و مقایسه گزینه‌های مختلف روسازی در نظر نمی‌گیرند. اگرچه محاسبه دقیق این مخارج دشوار و در برخی موارد غیرممکن است، لیکن آگاه بودن از این مخارج برای اتخاذ تصمیم و انتخاب طرح‌روسازی یکسان، می‌تواند از تاثیر آن در مقایسه اقتصادی طرح‌های روسازی جلوگیری نماید. بررسی و مقایسه اقتصادی طرح‌های مختلف روسازی صرفا به منظور بررسی تفاوت‌هایی است که استفاده یا عدم استفاده از مواد تثبیت‌کننده در اقتصاد و طرح روسازی ایجاد می‌کند. بدیهی است هر مهندس طراح روسازی باید محاسبات مربوطه را با در نظرگرفتن شرایط حاکم بر پروژه روسازی مورد نظر، نوع و اهمیت راه، نوع روسازی، ارزش زمانی سرمایه، نرخ بهره و تورم و غیره انجام دهد. لازم به ذکر است در برخی موارد ممکن است علاوه بر جنبه‌های فنی و اقتصادی، استفاده از مواد تثبیت‌کننده برای تثبیت خاک‌ها و لایه‌های روسازی، توانایی‌های اجرایی، تجهیزات و ماشین‌آلات، تجربه از عملکرد روسازی در پروژه‌های مشابه اجرا شده در منطقه، ملاحظات مربوط به تغییر مسیر و طرح هندسی راه، امکانات محلی و سطح نگهداری لازم برای روسازی، در اتخاذ تصمیم نهایی و انتخاب گزینه‌بهتر، موثر واقع شوند و یا حتی تعیین کننده باشند.

۹- نتیجه‌گیری

اگرچه مواد تثبیت‌کننده مختلفی جهت تثبیت خاک بستر وجود دارد، اما می‌توان با درنظرگرفتن شرایط اقتصادی و زیست محیطی و با توجه به شرایط موجود پروژه و کیفیت و مشخصات خاک موجود، با در نظر گرفتن پارامترهای اشاره‌شده بهترین نوع آن را انتخاب کرد.

۱- تثبیت سیمان باعث افزایش مقاومت و سختی می‌شود، اما ترک‌خوردگی انقباضی را تولید می‌کند.

۲-مقاومت مصالح سیمانی به طور کلی به صورت خطی با مقدار سیمان افزایش می‌یابد.

۳- مصرف اولیه تثبیت‌کننده[9] (ICS)، باید برای جلوگیری از کربناته شدن زود هنگام (یعنی مشکلات دوام) تامین شود.

۴-زمان کار موجود در آزمایشگاه باید شرایط پروژه را شبیه‌سازی کند.

۵- به هیچ‌وجه نباید فیلر فعال به عنوان مصالح مخلوط استفاده شود. فقط مصالح غیرفیلر برای مخلوط استفاده می‌شود. حداکثر مقدار فیلر فعال که به BSM اضافه می‌شود ۱ % است.

۶- کمبود ریزدانه‌ها نباید با افزایش فیلر فعال به مقدار بیش از یک درصد جبران شود.

۷-اختلاط با دمای مصالح کمتر از ۱۰ درجه سانتیگراد نباید انجام شود. در مواردی که درجه حرارت مصالح بین ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتیگراد باشد، مخلوط کردن باید فقط با کف قیر با کیفیت عالی انجام شود.

۱۰- منابع

1. Unsealed Roads Manual, Guidelines to Good Practice Stralian Road Research Board limited, 1993

2. Little.D.N, Thompson.R.L, Terrell.R.L, Epps.JL, Borenberg.E.J, Soil Stabilization For Roadways and Airfields, AFESC Final Report, USA, 1987

3. Hausmann, M.R, Engineering principle of Ground Modification, McGraw-Hill.book .Inc, 1990

4. Sowers, G.F, Introductory Soil Mechanics and Foundations: Geotechnical Engineering, Mcmillan Pub.Co.Inc, 1979

5. Das, B.M, Advanced Soil Mechanics, Mc Graw-Hill Int.Ed,1994

6. Mc Carthy.D.F, Essential of Soil mechanic and foundations, Reston Pub.Co,ine

7. Cold Recycling. Writgen cold recycling technology.2017

۸. مشخصات فنی و اجرایی بازیافت سرد. نشریه شماره ۳۲۹، سازمان مدیریت و برنامه ریزی ریاست جمهوری

9. Epps, J.A, Dunlap, W.A, Gallaway.B.M, Soil Stabilizations: A Mission Oriented Approach, HRB, NRC, No.351, HRB1971

10. Malhotra, V.M, Ramezanianpour, A.A.Fly Ash in concrete, 2nd Ed, CANMET, 1994

11. Hunter, D.lime-induced heave in sulfate-bearing clay soils, journal of geotechnical engineering, ASCE, vol.114, No2, 1988

12. Nelson.J.D, Miller, DJ, Expansive Soils: Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering, John wiley & Sons. Inc1992

جدول ٦- مقایسه بین روش‌های مختلف تثبیت قیر [۷]

دمای اختلاط قیر	۱۸۰-۱۶۰ (قبل از کف کردن)	۷۰-۲۰	۱۸۰-۱۴۰
دمای سنگدانه‌ها در حین اختلاط	دمای محیط (> 15)	دمای محیط (> 10)	۲۰۰-۱۴۰
مقدار رطوبت حین اختلاط	۷۰٪ تا ۹۰٪ مقدار رطوبت بهینه	افزودن ۱ درصد به مقدار رطوبت بهینه منهای املوسیون اضافه شده	خشک
نوع پوشش سنگدانه‌ها	پوشش ریزترین ذرات فقط	پوشش ذرات ریزتر (و بعضی از ذرات درشت)	پوشش تمام سنگدانه
دمای تراکم و اجرا	دمای محیط (> 10)	دمای محیط (> 5)	۱۶۰-۱۴۰
میزان مقاومت اولیه کسب‌شده	متوسط (ازدست‌دادن رطوبت)	کم (ازدست‌دادن رطوبت)	سریع (سرد شدن)
امکان اصلاح قیر	خیر(اصلاح‌کننده‌ها معمولا ضدکف هستند)	بله	بله
پارامترهای مهم قیر	- ویژگی کف قیر: نسبت انبساط و نیمه عمر	- نوع املوسیون - قیر باقیمانده - زمان شکست	- نفوذ - نقطه نرمی - ویسکوزیته

جدول ۷- مزایا و معایب تثبیت قیر

معایب	مزایا
قیر نسبتا گران است.	تثبیت با قیر باعث ایجاد یک نوع مصالح ویسکوالاستوپلاستیک با خواص برشی بهبودیافته (پیوستگی و مقاومت در برابر تغییرشکل) می‌شود.
املوسیون قیری معمولا در پروژه تولید نمی‌شود. فرآیند تولید، مستلزم نظارت دقیق بر کیفیت است. املوسیون‌سازها گران هستند.	سهولت کاربرد
کف قیر نیاز به قیر داغ دارد که معمولا بیش از ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد است. این موضوع به امکانات گرمایش ویژه و احتیاط‌های ویژه نیاز دارد.	موردپذیرش واقع‌شده؛ قیر در صنعت ساخت‌وساز شناخته‌شده‌است. روش‌های استاندارد آزمایش و مشخصات معمولا در دسترس هستند.
مصالح تثبیت‌شده با کف قیر مستلزم پیروی کامل از درجه‌بندی مورد نیاز است. (به‌خصوص ذرات کوچکتر از ۰/۰۷۵ میلی متر)	مقاومت به‌دست آمده؛ مصالح به سرعت به روی ترافیک بعد از تراکم باز می‌شوند، مخصوصا استفاده از کف قیر
مدت زمان عمل‌آوری می‌تواند برای مصالح تثبیت‌شده با املوسیون قیری زیاد باشد. افزایش مقاومت در اثر از دست‌دادن رطوبت حاصل می‌شود.	دوام؛ BSMها تمایل دارند که ذرات ریزدانه را با قرار دادن آن‌ها در قیر، حبس کنند. این مانع از واکنش با آب و مانع از پتانسیل تورم می‌شود.
املوسیون مورد نیاز که مناسب برای استفاده در بازیافت خاص است، ممکن است همیشه در دسترس نباشد.	

9-Intial Consumption of Stabiliser

مهندسی نقاشی نیســـــت، مهندسی نیاز به تفکر دارد و اینها را با ماشـــــین نمی‌توان جایگزین کرد. من فوق‌العاده نسبت به جامعه مهندسی نگران هستم.

مصاحبه‌ای جذاب و خواندنی با اعجوبه ایرانی مهندسی عمران؛ پروفسور فرزاد نعیم

اگر دانشـجوی مهندسی سازه یا زلزله باشید، حتما با هندبوک پروفســـور نعیم برخورد کرده‌اید و از اینکه دانشـــجوهای دانشـــگاه‌های ایرانی و خارجی، درس مهندسی زلزله را از کتابی بین‌المللی مطالعه می‌کنند که توسط یک ایرانی نوشته شده، افتخار کرده‌اید.

یکی از نکات برتری اساتید عمرانی را می‌توانیم به درگیر بودن آنها با کارهای محاسباتی واقعی اشاره کنیم. در این شـماره از نشـــریه می‌خواهیم با یکی از افرادی که افتخارات مهندسی بین‌المللی او همتراز با افتخارات علمی بیشـــمارش است، صحبتی داشته باشیم. طوری که در سال ۲۰۰۷ جناب پروفســـور فرزاد نعیم به‌خاطر یک عمر فعالیت مهندسی ارزنده در کشور آمریکا، برنده جایزه شد.

برخی از سوابق جناب پروفســـور نعیم عبارتند از: دکترای مهندسی عمران سازه از دانشـــگاه کالیفرنیای جنوبی در سال ۱۹۸۲، دکترای حقوق در سال ۲۰۰۲، تالیف کتاب‌های معروفی در مهندســی زلزله همچون هندبوک مهندســی زلزله، طرح عملکرد سازه‌ها و ده‌ها کتاب و مقالات تخصصی دیگر، تدریس دروس تخصصی کاربردی سازه و زلزله در مقاطع ارشد در دانشـــگاه‌های UCLA و USC و UC Berkeley، ریاست موسســـه تحقیقات مهندسی زلزله EERI در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰، ریاست انجمن طراحی سازه‌های بلند در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱، عضـو تیم مشـاور زلزله از سال ۲۰۱۰ تاکنون و عضو کمیته تدوین دهها آیین‌نامه تخصصی عمرانی دیگر در کشور آمریکا. از جمله سوابق مهندسی جناب پروفسور نعیم عبارتند از: نایب رییس، طراح و محاسب شوکت ســازهای جان ای مارتین از ۱۹۸۴ تاکنون، طرح دهها ســاختمان بزرگ در کشور آمریکا، ریاست هیئت داوری بازنگری بیش از ۱۲ طراحی ساختمان و برنده جایزه در سال ۲۰۰۷ به عنوان جایزه یک عمر فعالیت مهندسی سازه در کشور آمریکا.

در ادامه، صحبت‌های پروفســـور در زمینه تعریف مهندسی و انتظارات از یک مهندس را بیان می‌کنیم. همچنین در مورد مفاهیم طرح عملکردی و طرح سازه مقاوم در برابر زلزله نیز توضیحاتی خواهیم داشت.

• جناب پروفســـور در ابتدا لطفا خلاصه‌ای از کارهای مهندسی خودتان را بفرمایید تا به سوال‌های بعدی برسیم.

من فارغ‌التحصیل دانشکده فنی دانشگاه تهران هستم در سال ۱۳۵۵ و پس از آن به آمریکا آمدم و تحصیلات خود را در اینجا ادامه دادم و فوق لیسانس و دکترای خود را از دانشـگاه کالیفرنیای جنوبی حدود ۳۱ سال پیش گرفتم و از همان موقع در همین شرکتی که هم‌اکنون مشـغول به کار هسـتم، مشـغول به کار شدم و در عین حال به تدریس نیمه وقت در دانشـــگاه‌های مختلف پرداختم و چیزی که در کار من و مهندسین هم دوره با من تفاوت ایجاد کرد این بود که زمانی که من وارد شرکت شدم به دلایل مختلفی موفق شـدم بخش تحقیق و توسـعه ایجاد کنم که فوق‌العاده برای آنها مفید بود و در عین حال باعث شـد بتوانم کتاب‌هایی که تالیف کرده‌ام و مقالات خود را بنویسم. حدود بیست سال پس از مشـغول به کار شدن من، وارد دانشـکده حقوق شـــدم و حدود ده ســـال پیش دکترای حقوق گرفتم و البته عمدتا کارهای مهندسی انجام می‌دهم.

• چه شد که وارد رشته حقوق شدید؟

وارد رشته حقوق شدم چون جامعه آمریکا، جامعه‌ای هست که در آن کشـمکش‌های حقوقی برای کارهای مهندسی بسـیار اتفاق می‌افتد و خصـوصا در مدت ۱۵ یا ۱۶ سال گذشته اکثر کارهای بزرگ به شکلی وارد درگیری‌های حقوقی می‌شـوند. در آن زمان‌ها وقتی ما وارد این جنگ و جدل‌ها می‌شدیم، حرف وکلا را متوجه نمی‌شدیم و اگر چیزی می‌گویند که به این میزان کار دارد و مخارجش اینقدر اسـت ما متوجه نمی‌شدیم که اینها درست هستند یا نه. آیا واقعا کاری می‌شود انجام داد یا نه. آیا کار بهتری می‌شود انجام داد یا نه. پس تصـمیم گرفتیم یکی از سه نفری که آن روز در اتاق نشسـته بودند و راجع به این موضوع صحبت می‌کردند، به تحصـیل حقوق بپردازد. آن سه نفر یکی آقای جک مارتین ۷۰ ساله بودند، یکی پسـر ایشـان بود که رئیس آنجا بود، پس مشخص بود که از آن سه نفر چه کسی باید به دانشـکده حقوق برود. من در ابتدا با بی‌میلی به آنجا رفتم ولی فوق‌العاده در ادامه علاقه‌مند شـدم و اتفاقا از دانشکده حقوق با رتبه اول فارغ‌التحصیل شدم.

•چه تاثیراتی تحصیل حقوق در ادامه کارهای مهندسی شما داشت؟

تحصیل حقوق دو اثر بر کارهای من گذاشت. یکی اینکه باعث شد مشاور واقع‌بینانه‌تری برای کارهای مهندسی باشم و بدانم که چه مواردی را در چه قراردادهایی باید ذکر کرد و چه مواردی را نباید. و از این طریق شرکت را راهنمایی کنم و در جامعه مهندسی به چه چیزایی باید تن بدهم و به چه چیزهایی نباید. از طرف دیگر دستاورد بزرگی که برای من داشت این است که برای مدتها متوجه نمی‌شدم آقایان وکلا چه می‌گویند و آنها هم متوجه نمی‌شدند که مهندسین چه می‌گویند. در حال حاضر من می‌دانم که چرا زبان جامعه مهندسی با زبان جامعه حقوقی در آمریکا متفاوت است و علت آن هم این است که ما قوانینمان متفاوت است. مهندسین بر اساس یکسری قوانین فیزیکی تعلیم و تربیت می‌شوند و این قوانین فیزیکی مثل قانون دوم نیوتون عملا غیر قابل تغییر است، بنابراین وقتی متوجه می‌شویم که کسی قوانین بازی را در حین بازی عوض می‌کند، متعجب و متاثر می‌شویم. جامعه حقوقی بر اساس قوانین بشری رفتار می‌کند. قوانین مدنی هم در آمریکا دائما در حال تغییر هستند، چون یک قاضی یک مدل تصمیم می‌گیرد و قاضی دیگر به گونه‌ای دیگر. قانون اساسی به یک شکل هست ولی متمم می‌گیرد و تغییر می‌کند. بنابراین برای وکلا، قوانین ابدی و ازلی نیست، پس سعی می‌کنند طرف مقابل خود را حمایت کنند، جلو ببرند و تعجب می‌کنند که چرا ما اینقدر به این قوانین وابسته‌ایم. من این تفاوت فکری را الان درک می‌کنم، در صورتی که در گذشته متوجه نبودم.

•در بین جوایزی که دریافت کردید یک مورد برای من خیلی جالب بود، جایزه فضل‌الرحمان، اگر امکانش هست توضیح کوتاهی راجع به آن بدهید.

آقای فضل‌الرحمان یکی از بزرگترین مهندسین محاسب قرن بیستم هستند و به طور عمده به غیر از سیستم‌های جدیدی که برای ساختمان‌های بلند ابداع کرده‌اند، عمده ساختمان‌های قابل توجه شهر شیکاگو که شاید زیباترین مجموعه ساختمان‌های بلند آمریکا را داراست، از کارهای ایشان می‌باشد و مجسمه ایشان هم در آنجا قرار دارد. ایشان در جوانی فوت شدند ولی مهندس بسیار بزرگی بودند و شورای طرح سازه‌های بلند که موسسه بین‌المللی است، هر سال یک مدال به نام ایشان می‌دهد که برای ماحصل دستاوردهای یک نفر در طول عمر حرفه‌ای او است. در سال ۲۰۰۷ این مدال را به من دادند و این یکی از بزرگترین افتخارات من است، چون من در زمان دانشجویی علاقه فوق‌العاده زیادی به کارهای آقای فضل‌الرحمان داشتم و با دقت کارهای ایشان را مطالعه می‌کردم و گرفتن این مدال فوق‌العاده برای من خوشایند بود. در عین حال دوستان می‌گویند وقتی جایزه تمام عمر را دریافت می‌کنی از عمرت دیگر خیلی باقی نمانده که این جنبه دیگر هم دارد.

•از کارهای آقای فضل‌الرحمان خان که باعث ایجاد علاقه در شما شد را برای ما می‌گویید؟

آقای فضل‌الرحمان خان چند سیستم سازه‌ای شایع برای ساختمان‌های بلند را برای اولین بار ابداع کردند. برای اولین بار رفتار قابهای خمشی همراه با دیوارهای برشی و اینکه در ارتفاع کدام به دیگری کمک می‌کند را بسیار زیبا بررسی کردند و چندین مقاله علمی نیز در این زمینه ارائه کردند. همچنین یکی از کارهای فوق‌العاده ایشان از نظر من این است که مستقل از ریاضیات پیچیده مهندسی، کارهایی که انجام داده‌اند به راحتی از نظر فیزیکی و از طریق لمس و تصور قابل درک هستند و این فوق‌العاده مهم است، چون اکثر روش‌هایی که ایشان دارند روش‌هایی هستند که با دست قابل انجام هستند. من از دوتای آنها در کتاب‌های خودم استفاده کردم و وقتی بعضی از این روش‌ها را با روش‌های کامپیوتری که ممکن است ساعت‌ها طول بکشد مقایسه کنید، شاید حداکثر ۵ یا ۱۰ درصد تفاوت داشته باشد.

•در ارتباط با تالیفات ارزشمند جنابعالی، ما در مقطع کارشناسی ارشد در درس مهندسی زلزله برای اولین بار با کتاب شما آشنا شدیم. چه انگیزه‌ای باعث شد شما این حجم از کتاب را با این سطح علمی تالیف کنید و به طور کلی از آرشیو کتاب‌هایی که تاکنون تالیف کرده‌اید به طور خلاصه توضیحاتی به ما بفرمایید.

این کتاب به مرور زمان بزرگ شد، از اول بزرگ نبود. انتشار اول این کتاب در سال ۱۹۸۹ حجمی حدود نصف حجم انتشار دوم را دارا بود. کاری بود که می‌خواستم انجام بدهم، برای اینکه تعاریف مهندسی زلزله در شرکت‌های مختلف با هم متفاوت بود. و من فکر می‌کردم برای اینکه بشود یک تصویر یگانه‌ای داشت از اینکه مسایل مهندسی زلزله چیست و چگونه باید به آنها پاسخ داد، لازم است این نکات در یکجا جمع شود. تالیف چاپ اول این کتاب کار مشکلی بود، چون آن زمان من نسبتا جوان بودم و شناخته شده نبودم ولی با این وجود بعد از چهار پنج سال کار توانستم آن را جمع کنم و چاپ دوم که چاپ بزرگی است و شما به آن رجوع می‌کنید، حدود سال ۲۰۰۰ منتشر شد، به مراتب کار آسان‌تری بود چون خیلی از متخصصین و استادان این کار می‌خواستند و علاقه‌مند به همکاری بودند و اینکار انجام شد. کار موفق بود ولی دروغ است اگر به شما بگویم که من از اول می‌دانستم که اینکار موفق خواهد بود. اگر یک زمانی کسی به من می‌گفت که از ۱۰ دانشجو از دانشگاه‌های شماره یک تا شماره ده آمریکا، ۹ نفر کتاب شما را برای مهندسی زلزله تدریس می‌کنند، می‌خندیدم و می‌گفتم شما با من شوخی می‌کنید. ولی کاری بود که انجام شد و مردم قدر آن را دانستند و ما هم به خاطر اینکه قدر دانستند از آنها متشکریم.

•جناب پروفسور شما در چه دانشگاه‌هایی تدریس کردید و به طور ثابت در حال حاضر در چه دانشگاهی فعالیت دارید؟

من در دانشگاه کالیفرنیای جنوبی تدریس کردم و در دانشگاه برکلی زمان کوتاهی تدریس کردم که یک دوره تابستانی در رابطه با ساختمان‌های ایزولاسیون لرزه‌ای بود. در دانشگاه USLA و در دانشگاه ایالتی کالیفرنیا در نورثریج درس دادم، جز هیئت مشاورین دانشگاه UCLA و رئیس شورای راهنمایان دانشکده مهندسی دانشگاه کالیفرنیای جنوبی بودم. در حال حاضر یک درس را در دانشگاه کالیفرنیای جنوبی تدریس می‌کنم. درس آخر فوق لیسانس مهندسی سازه است که درس‌های دیگر را با هم جمع می‌کند. وقتی دانشجویان درس‌های دیگر را گذراندند، آن کلاس را به عنوان کلاس آخر برمی‌دارند و در آن کلاس ما سازه‌ای که معمولا ده تا بیست طبقه است را از اول شروع به طرح می‌کنیم و تا آخر انجام می‌دهیم.

•شما در مدت تدریسی که در این سال‌ها داشتید، چه موارد برجسته‌ای را به عنوان فرق بین بین دانشگاه‌های ایران و آمریکا برداشت کردید؟

این سوال مشکلی است، چون تجربه من از دانشگاه‌های ایران، تجربه حدود ۳۵ سال پیش است. من با دانشگاه‌های فعلی ایران در حد دیدار دانشجوها یا دوره‌های آموزشی کوتاه مدت سه چهار روزه آشنا هستم و واقعا عملکرد دانشگاه‌های ایران را نمی‌دانم. در مورد دانشگاه‌های آمریکا می‌توانم مواردی را خدمتتان عرض کنم. در دانشگاه‌های آمریکا به خصوص در رابطه با مهندسی باید دو قسمت را از هم جدا کرد. یکی آموزش دوره لیسانس و دیگری آموزش دوره بعد از لیسانس است و مدل آموزشی که شما در دانشگاه‌ها در این دو دوره می‌گیرید با یکدیگر متفاوت است. برای کسانی که می‌خواهند برای ادامه تحصیل به آمریکا بیایند این امر مهم است. در ایران به گونه‌ای به دانشگاه‌های آمریکا نگاه می‌کنند که معروفند و شایستگی معروف بودن را دارند. تعدادی هم هستند که آنقدر معروف نیستند. معمولا تفاوت این معروف بودن‌ها در دوره بعد از لیسانس مشخص می‌شود. چون وقتی کسی برای تحصیل دکترا به دانشگاه‌های معروف‌تر می‌رود، توجه بیشتری به او می‌کنند و امکانات مادی برای او وجود دارد. ولی اصلا به معنای این نیست که دانشگاه‌های معروف‌تر و دارای رتبه بهتر در دوره لیسانس هم آموزش بهتری به شما می‌دهند. دانشگاه‌هایی هستند در آمریکا که اصلا دوره فوق لیسانس ندارند و خیلی هم معروف نیستند، ولی آموزشی که می‌دهند برای دوره لیسانس بهتر از دانشگاه‌های خیلی معروف است. علت آن هم واضح است، دانشگاه‌های معروف بر اساس تحقیق بنا شده‌اند، یعنی در این دانشگاه‌ها تمام بودجه‌ها براساس پول تحقیقی که وارد موسسه می‌شود صرف می‌شود. بنابراین، اساتید، فوق‌العاده به تحقیق علاقه‌مندند چون اگر تحقیق کنند، اگر مقاله بنویسند، اگر کتاب چاپ کنند، اگر پول تحقیق وارد کنند پیشرفت می‌کنند و درجاتشون بالاتر می‌رود و موفق می‌شوند و اگر معلم خوبی باشند ولی محقق خوبی نباشند آنقدر به آنها ترتیب اثر داده نمی‌شود. این در رابطه با کسی که برای تحصیل در مقطع دکترا می‌رود مسئله مهمی نیست، چون برای تحقیق رفته و اساتید هم مشتاق تحقیق هستند ولی برای کسی که از دیپلم می‌رود و می‌خواهد لیسانس مهندسی بگیرد، وقتی با اساتیدی روبرو می‌شود که حول مسائل تحقیقاتی هستند، خیلی برای او مفید نیست. بنابراین در خیلی از زمینه‌ها برای تحصیل دوره لیسانس، **شاید دانشگاه‌هایی که آنقدر معروف نیستند جای بهتری برای تحصیل باشند. این چیزی است که خیلی از افراد در بیرون از آمریکا نمی‌دانند.**

•شما سوابق همکاری در تولید نرم افزار هم داشتید. چند نمونه از آنها را لطفا بفرمایید.

من چندین نرم افزار تهیه کردم البته نه به تنهایی و با گروهی که با هم کار می‌کنیم اینکار را انجام دادیم. زمانی که ما در اوایل سال ۱۹۸۰ میلادی طرح سازه‌های بلند در لس انجلس را شروع کردیم، این نرم‌افزارهایی که همه دارند و با آن آشنا هستند، به این شکل وجود نداشتند. برای اینکه ما بتوانیم اینکارها را انجام دهیم لازم بود که نرم‌افزارهای خودمان را بنویسیم. در سازه‌های لس انجلس که من در طرح آنها همکار و شریک بودم، که دو سه تا از آنها هم بسیار معروف هستند، با استفاده از

نرم‌افزارهایی که با آن گروه نوشتیم محاسبه و طرح شد. در رابطه با یک قاب فضایی سه بعدی خیلی بزرگ در آریزونا هست که در آن زمان هیچ نرم‌افزاری نمی‌توانست بیشتر از نصف آن را محاسبه کند. ما به کمک یکی از دوستان نرم‌افزاری نوشتیم که توانست سازه را به طور کامل محاسبه کند و پس از آن ما وارد یکسری نرم‌افزارهای تحقیقی شدیم از جمله طرح عملکردی سازه‌ها.

•شما در یکی از بخش‌های صحبت‌تان به فعالیت‌هایی اشاره داشتید که فضل‌الرحمان خان انجام دادند. در حال حاضر بیشتر محاسبات از طریق نرم‌افزارهای کامپیوتری انجام می‌شود و کمتر به صورت دستی انجام می‌پذیرد. نظر شما در این‌باره چیست آیا این اتفاق خوبی است؟

شاید عجیب به نظر بیاید از نظر بقیه ولی به عنوان کسی که نرم‌افزارهای زیادی نوشتم، معتقدم که استفاده روزافزون از کامپیوتر و نرم‌افزارهای مختلف اگرچه لازم است ولی برای مهندسی سازه به عنوان یک حرفه اگر به طریق کنترل نشده انجام شود بسیار مخرب است. **مهمترین سرمایه مهندس سازه قضاوت و تجسمی است که آن مهندس از رفتار سازه دارد.** مهندسین جوان که با کامپیوتر راحت‌تر هستند در استفاده از این نرم‌افزارها نسبت به مهندسین پیر خیلی چابک‌ترند، در نتیجه قسمت مدل کردن به آنها محول می‌شود و **مهندسین جوان کسانی هستند که قضاوت مهندسی کمتری دارند و این مسئله باعث می‌شود که کنترل کیفیت در محاسبه سازه‌ها مرتب کمتر می‌شود** و اگر پیچیده شدن آیین‌نامه‌ها را نیز در نظر بگیریم، شناخت مواردی که لازم هستند یا نه، با محو شدن تدریجی قضاوت مهندسی می‌تواند مسائل بسیار زیادی ایجاد کند. من نمونه‌هایی از این موارد را در حال حاضر در جامعه آمریکا مشاهده می‌کنم. این یک سمت قضیه است. سمت دیگر این است که در سال‌های گذشته وقتی محاسبات با کامپیوتر انجام می‌شد، مهندسین محاسب این زمان را داشتند که چند روز به این محاسبات نگاه کنند و بعد آنها را منتشر کنند، اما در حال حاضر به محض طرح مسئله، یکسری اندازه‌های قراردادی برای المان‌های مختلف در نظر گرفته شده و کشیده می‌شود در صورتی که مهندسی نقاشی نیست، مهندسی نیاز به تفکر دارد و اینها را با ماشین نمی‌توان جایگزین کرد. من فوق‌العاده نسبت به جامعه مهندسی نگران هستم که بزرگترین سرمایه‌اش که قضاوت مهندسی است کم کم رنگ می‌بازد و این امری است که مرتب به دانشجوهایم یادآور می‌شوم و هر سازه‌ای که روی آن کار می‌کنم و هر پروژه‌ای که به دانشجوهایم می‌دهم همیشه می‌گویم هر راه‌حلی باید از دو روش مختلف بدست بیاید. اگر می‌خواهید از طریق نرم‌افزار بدست بیاورید، جواب را از آن طریق بدست بیاورید ولی جواب‌ها باید با روشی به غیر از روش اولیه چک شود. اگر همیشه دو روش مختلف راهنمای ما باشد آن مسئله کمتر می‌شود.

•شما در کشور آمریکا در شرکت جان مارتین پروژه‌های مهندسی بزرگی را طراحی کردید. در حال حاضر به عنوان یک مهندس عمران شما چه تفاوتی بین مهندسی آمریکا و مهندسی ایران ارزیابی می‌کنید.

من فکر می‌کنم در محدوده تجربه‌ای که من با همکارهای ایرانی داشتم، از نقطه نظر فنی، قابلیت فنی مهندسین کارآزموده ایرانی فوق‌العاده خوب است. از نقطه نظر نظری، کیفیت دانشجوهای خوب ایرانی خیلی خوب است، یعنی در همه دانشگاه‌های آمریکا، دانشجوهای ایرانی خوب مورد تقاضا هستند. من اشکالی از نقطه نظر نظری یا تکنیکی نه در جامعه مهندسین محاسب ایرانی می‌بینم و نه در جامعه دانشجوهای خوب دانشگاه‌های ایران. اما یکسری تفاوت‌های زیر بنایی وجود دارد. مثلا خیلی سال پیش به خاطر دارم که در ایران یکسری ساختمان‌هایی وجود داشت که توسط افرادی بدون دانش مهندسی ساخته شده بود. اما نمی‌توان این ایراد را از جامعه مهندسی گرفت که چرا این ساختمان‌ها وجود دارند. ولی به طور کلی دانشجوهای ایرانی که من داشتم خیلی کم پیش می‌آید متوسط باشند، یا خیلی خوب بودند یا خیلی بد، که البته اکثر آنها خیلی خوب بودند. پس مسئله ما مسئله فنی نیست. مسئله این است که از نظر ما مهندسی علم نیست، مهندسی یک پل است بین علم و عمل و به عنوان یک مهندس در هر جامعه‌ای که فعالیت می‌کنیم، باید بتوانیم پاسخگوی نیازهای مهندسی جامعه‌مان باشیم و آن نیازهای جامعه در ایران با نیازهای مهندسی در آمریکا یا آلمان یا ژاپن متفاوت است. مثلا آخرین سفر من به ایران برای ارزیابی زلزله بم در سال ۲۰۰۴ بود و برای من شگفت‌انگیز بود که با این کیفیت بسیار خوب جامعه مهندسی ایران روبرو شدم. چطور می‌شود در کشوری که بسیار زلزله‌خیز است، مسائلی داریم که مهندسی نیستند ولی از طریق مهندسی قابل حل هستند. یک مثال ساده همین خانه‌های خشت و گلی که باعث مرگ بسیاری از افراد شده‌اند. در آمریکا ما خانه‌های خشت و گلی نداریم ولی اگر داشتیم مهندسین آمریکا باید در درجه اول این مسئله را حل می‌کردند. به نظر من مهندسی که این مسائل را می‌بیند و برای آنها راه حل ارائه می‌دهد به مراتب ارزش بیشتری از منی که سازه‌های پیچیده درست می‌کنم، دارد. چون کار ایشان جان افراد بیشتری را نجات خواهد داد و این مسئله‌ای نیست که ما به آن توجه نکنیم. من از ایران ایمیل‌های زیادی از دانشجویانی که قصد ادامه تحصیل دارند دریافت می‌کنم و اکثرا صحبت از کارهای غیرخطی و کنترل سازه از طریق دمپرها و... است ولی اینها برای جوامع آمریکا و ژاپن هم مسائلی است که اگر حل نشوند اتفاقی نمی‌افتد، این است که توجه به مسائل موجود مهم است.

•در صحبت‌تان به حضور در ایران در سال ۲۰۰۴ بعد از زلزله بم اشاره کردید. بعد از آن فکر می‌کنم که طرح سازه‌های مقاوم در برابر زلزله بیشتر مورد توجه قرار گرفت و در محافل عمرانی عنوان شد که سازه‌هایی مقاوم در برابر زلزله طرح کنیم. در کنفرانس‌هایی حضور داشتم و صحبت‌هایی مطرح شد که برخی از آنها غیرمهندسی بود، مبنی بر آنکه سازه‌ای را ضد زلزله طراحی کنیم و غالبا این صحبت از جانب کسانی مطرح می‌شد که مهندس عمران نبودند. یک جبهه‌ای در برابر آنها گرفته شد که سازه ضدزلزله وجود ندارد و سازه مقاوم در برابر زلزله مفهومی فراتر از این مساله دارد. شما با توجه به سابقه بسیار زیادی که در طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله دارید، لطفا بفرمایید که از دیدگاه شما طراحی باید دارای چه ویژگی‌هایی باشد که ساختمان در برابر زلزله قادر باشد بیشترین مقاومت را از خود نشان دهد؟

عرض به حضورتان که آنچه شما فرمودید کاملا درست است. تعداد سازه‌هایی که در برابر زلزله مقاوم باشند، به این معنی که زلزله به آنها صدمه نزند، یا بسیار کم است و یا چنین سازه‌هایی وجود خارجی ندارند. مساله مهندس زلزله این نیست که سازه‌ای بسازد که زلزله به آن آسیب نرساند، این عملی نیست. مساله مهندس زلزله آن است که سازه‌ای بسازد که هنگام وقوع زلزله اولا مردم در داخل آن نمی‌روند، ثانیا میزان خسارات به‌گونه‌ای باشد که قابل کنترل باشد و بشود آن سازه را در صورت مهم بودن به حالت قابل استفاده برگرداند. اگر در آیین‌نامه‌هایی که برای مثال در ۵۰ سال گذشته در مهندسی زلزله وجود داشته‌اند نگاه کنید، فلسفه آنها تغییری نداشته، به این معنی که در ۵۰ سال گذشته می‌گفتند سازه را باید به گونه‌ای ساخت که خود سازه از حیز انتفاع بیفتد ولی باعث مرگ و میر و کشتار نشود. هنوزم این هست ولی در رابطه با بسیاری از شهرها مانند لس‌آنجلس، توکیو و یا تهران می‌شود گفت این فلسفه دیگر کهنه شده و عملی نیست. شما فرض بفرمایید که برای مثال در زلزله نورثریج که ۲۰ سال پیش اتفاق افتاد، ۱۶ نفر کشته شدند ولی در حدود ۱۰۰ میلیارد دلار صدمه وارد شده است و اقتصاد منطقه جنوب کالیفرنیا برای مدت ۳ ماه خوابیده بود. اکنون صحبت آن است که زلزله بزرگی که انتظار آن می‌رود در اثر گسل سن‌آندریاس در کالیفرنیا رخ دهد، ممکن است برای مثال ۳ ماه برق منطقه را قطع کند و این خسارت جبران‌ناپذیری را به اقتصاد آمریکا وارد می‌کند. بنابراین آن فلسفه مبنی بر این که اگر سازه از بین رفت ولی مردم سالم ماندند، پس کار ما درست است، دیگر قدیمی شده و به نظر من دیگر موقع آن شده که میزان صدمه به سازه را هم کنترل کرد و می‌بایست این رهنمودها عوض شود، ولی کنترل صدمه به معنی آن که صدمه‌ای ایجاد نشود نیست. به نظر من زلزله شیلی در سال ۲۰۱۰ زلزله بسیار بزرگی بود و تجربه شخصی من در زلزله شیلی وقتی که به آنجا رفتم، سازه‌هایی را دیدم که خیلی خوب عمل کردند. تعداد کسانی که کشته شدند در واقع می‌شود گفت که در حدود ۳۶۰ نفر بودند که به نظر من تعداد بسیار کوچکی در حد ۱۰ الی ۱۵ نفر در سازه‌های مهندسی کشته شدند. سازه‌های کوچکی هم نداشتند، سازه‌های ۱۵، ۲۰ و ۳۰ طبقه در سراسر کشور داشتند. ولی در آن مناطقی که من سفر کردم، کسی جرات نداشت که بگوید من مهندس سازه‌ام، چرا که مهندسین سازه در آن زمان فوق‌العاده مورد تنفر بودند و این برخلاف تصوری بود که من تا آن موقع داشتم. من فکر می‌کردم که به هر یک از آنها می‌بایست یک مدال دهند، چرا که عملکرد آنها در خلال آن زلزله بسیار هم خوب بوده‌است. علتش آن است که میزان انتظارات ملت را بالا برده بودند، جامعه مهندسی کار خود را نکرده بود و در مقررات‌شان نوشته بودند که سازه‌ای که در شیلی طرح می‌شود، می‌بایست ضدزلزله باشد. ضدزلزله وجود خارجی ندارد و مردم خانه‌های خود را بر این اساس خریده‌اند که اگر زلزله بیاید خانه آنها صدمه نمی‌بیند، در حالی که صدمه دیده‌اند. نمردند ولی خانه‌هایشان خراب شد و به جای آنکه خوشحال باشند، فوق‌العاده عصبانی شدند. من به‌خوبی به خاطر دارم که سازه‌ای را دیده بودم که به خوبی ایستادگی کرده و آسیبی ندیده بودند، ولی از من می‌پرسیدند به نظر شما که از آمریکا آمده‌اید، نباید این سازه را تخریب کنند. نه! به نظر من نباید خراب کنند و باید درستش کنند. انتظارات مردم را نباید بالا برد. یعنی می‌بایست واقع بینانه گفت که در حال حاضر مهندس این کارها را می‌تواند بکند. حال اگر از سمت دیگر نگاه کنیم، مساله مهندسی زلزله، به شکلی مساله طرح سازه‌های جدید نیست. برای اینکه سازه‌های جدید را می‌توان به گونه‌ای طرح نمود تا این مسائلی را که گفتیم در مورد آنها اتفاق نیفتد و صدمه‌اش را در یک حد قابل ترمیم بتوان کنترل کرد ولی با سازه‌های موجود چه می‌کنیم؟ بالاخره من به تهران سفر کردم، در ایران، هر چهار سالی که آیین‌نامه عوض شده که نمی‌توان سازه‌های قدیمی را تخریب کرد و از اول ساخت. یا در آمریکا ما این همه سازه بتنی قدیمی، سازه‌های آجری و یا سازه‌های با عمر ۵۰، ۶۰ و یا ۱۰۰ سال داریم که خوب نیستند و اکثر مردم ما در این سازه‌های موجود زندگی، کار یا تحصیل می‌کنند. مهندس زلزله که نمی‌تواند بگوید من فقط سازه‌های جدید را خوب طراحی می‌کنم و به من مربوط نیست که مردم در سازه‌هایی که ۱۵ سال پیش طرح شده‌اند زندگی می‌کنند، می‌میرند یا زنده می‌مانند. یک فکری هم باید به حال آنها کرد.

• در مورد طراحی عملکردی نظرتان چیست؟ مطابق نظر شما یک سری از سازه‌ها را مطابق آیین‌نامه‌های قدیم طراحی کرده‌ایم که در ویرایش‌های جدید تغییراتی کرده و عموما بحث طراحی عملکردی و یا همان Performance Base Design خیلی جدیتر مطرح شده‌است. در پیش‌نویس آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، می توانیم تمرکز بیشتر بر روی طراحی عملکردی را ببینیم. از نظر شما به عنوان کسی که در این مساله صاحب‌نظر هستید، تفاوت طراحی عملکردی با طراحی که در ورژن های قبلی محاسبات سازه انجام می‌شد، در چه هست و چه لزومی دارد که محاسبات را بر مبنای طراحی عملکردی انجام دهیم؟

زلزله شیلی

یک علت اصلی آنکه مهندسی سازه و خصوصا مهندسی زلزله به سمت طراحی عملکردی می‌رود، این نیست که طراحی عملکردی الان کامل است یا همه جواب‌ها را دارد. علتش آن است که طراحی عملکردی سوال‌های درست را مطرح می‌کند که می‌بایست به آن جواب داده شود. در روش کلاسیک آیین‌نامه‌ای، این سوال‌ها مطرح نمی‌شود که جواب‌های آنها جست و جو شود. من برای شما یک مثال ساده می‌زنم. آیین‌نامه به صورت کتاب سیاه و سفید است، برای مثال فرمول شماره ۱۶-الف، اگر سازه شما با آن جواب می‌دهد سازه شما خوب است و اگر کمی بالاتر از آن رویم سازه شما بد است. چنین چیزی منطبق بر واقعیت نیست. شما می‌توانید سازه‌ای داشته باشید که تمام فرمول‌های آیین‌نامه را هم جواب دهد ولی سازه خوبی نباشد و از سمت دیگر سازه‌ای داشته باشید که برخی از فرمول‌های آیین‌نامه را جواب ندهد ولی چیزهای دیگری در داخل خود داشته باشد که حتی سازه بهتری باشد. بنابراین این نگاه سیاه و سفید به خصوص در رابطه با مهندسی زلزله به این که سازه‌ای خوب است یا خیر، اولا درست نیست و ثانیا فرمول‌های سازه‌ها در آیین‌نامه‌های کلاسیک، موجود و یا غیر عملکردی، تناسب مستقیمی با واقعیت ندارند به علت آن که شما یک طیف برای زلزله فرض می‌کنید و عددی را با توجه به نوع سازه در نظر می‌گیرید و به یکباره زلزله شدتش از آنچه که عملا رکوردش و یا طیفش نشان می‌دهد، ۴ بار، ۶ بار یا ۸ بار کوچکتر می‌شود. تصورات و فرمول‌هایی بر اساس این تجربه وجود دارد که این مدل سازه در زلزله‌های قبل خوب عمل کرده است. ولی اینکه خوب عمل کرده است، دلیل نمی‌شود در زلزله بعدی هم خوب عمل کند. سازه‌های فلزی در آمریکا مثلا در کالیفرنیا، تا قبل از زلزله نورثریج مثال این بودند که سازه‌ها می‌بایست اینگونه عمل کنند. هر مهندسی که می‌خواست سازه‌ای را برای کسی طراحی کند سعی می‌کرد تا شخص را راضی کند که سازه فلزی بسازد، زیرا این بهترین چیزی بود که می‌توانست باشد. زلزله نورثریج آمد و نشان داد که این خبرها نیست و سازه فلزی هم می‌تواند هزار دردسر داشته باشد. برای اینکه طرح سازه

درست باشد، سوال‌های درست باید مطرح شود که این سازه در حال ساخت چه مقاومتی دارد؟ این سازه چه نیروها و تغییرشکل‌هایی ممکن است به آن وارد شود؟ این نیروها و تغییرشکل‌ها برای زلزله‌های متفاوت فرق می‌کند و نمی‌شود از همه اینها صرفنظر کرد و بگویید شما اگر این فرمول و یا این دهها فرمول را جواب بگیرید طرحتان درست است. مهندسی سازه و مهندسی زلزله خیلی پیچیده‌تر از آن است که با تعدادی فرمول بتوان جواب آن را داد. طراحی عملکردی، چشم مهندس را به این مساله باز می‌کند و به نظر من ارزش مهندس را در جامعه بالا می‌برد. زمانی که من در ایران بودم مهندسین وجهه بالایی داشتند و یک مهندس برای خودش کسی بود و امیدوارم هنوز هم چنین باشد. در جامعه آمریکا عملا فرق مهندس با مثلا لوله‌کش خیلی نیست و علت آن است که استفاده هر چیزی فرمولی است. طراحی عملکردی، مهندس را به سطحی می‌رساند که صحبت آن را بکند که چه چیزی غیر از مسائل مهندسی در رابطه با رفتار و در رابطه با تصور شما از بازگشت سرمایه، مهم است. بنابراین مهندس سازه بخش بزرگی از تصمیم‌گیری می‌شود در مورد نوع سازه‌ای که می‌بایست ساخته شود، اندازه سازه‌ای که می‌بایست ساخته شود و رفتاری که سازه باید داشته باشد و نمی‌توان بدون طراحی عملکردی به آن دست یافت.

•بسیار عالی. جناب پروفسور شما در کشور آمریکا طراحی مهندسی بسیاری انجام دادید و در تدوین آیین‌نامه‌های آمریکا همکاری داشتید. درست عرض می‌کنم یا خیر؟

بله درسته.

•در کشور ما، با توجه به آن که از لحاظ زلزله خیزی شاید به مراتب بدتر از آمریکا باشد، با توجه به نوع سازه هایی که ساخته می شود و غیرمهندسی بودن اغلب سازه های ساخته شده، آیا تا به حال از شما دعوت شده تا در تدوین آیین نامه های کشورمان هم همکاری داشته باشید و یا در طرح سازه به خصوصی مشاوره دهید؟

همکاری محدودی داشته ام و همکاری به اصطلاح چشمگیری نداشته ام، خیر. من به ایران که آمدم، یکی دو مورد بوده که کمیته آیین‌نامه‌های مختلف صحبت کرده و از من دعوت کردند و به آنجا رفته‌ام. در رابطه با نگاه کردن به سازه هایی که در آنجا در حال انجام بودند، یک سازه بزرگی در اوایل سال ۲۰۰۰ در تهران بود که نیمه‌تمام بود و صحبت این پیش آمد که چگونه می شود این سازه از طریق طراحی عملکردی انجام شود و تمام شود. در آن مورد هم من با همکاران ایرانی همکاری می‌کردم، در این حدود.

•آیا شما در زمینه طراحی و یا تحلیل سازه‌ها، موضوع یا زمینه‌ای بوده که علاقه‌مند باشید تا در آن حوزه کتابی تالیف کنید؟ نمونه‌هایی در ذهنتان هست؟

اتفاقا چرا. من سال‌ها دینامیک سازه درس داده‌ام که در فارسی فکر کنم به آن ارتعاشات ساختمان می‌گویند و دانشجویان کمی با آن مشکل داشتند و وقتی می‌دیدند اعصاب‌شان خرد می‌شد. آخرین کتاب من پنج شش ماه پیش، با همکاری دوستم و استاد راهنمای سابقم، آقای پروفسور انترسون، به اسم Basic Structural Dynamics چاپ شده‌است. در آن کتاب، ما مساله دینامیک سازه را از ابتدا به صورت بسیار ساده توضیح می‌دهیم و نه تنها مسائل مختلف را از طریق مثال‌های کوچک بیان می‌کنیم، بلکه هم از مسائل عددی و هم از نرم‌افزار متلب در آن کتاب استفاده می‌کنیم. کتاب دیگری هم مدت هاست در دست دارم و امیدوارم تمام شود که در رابطه با قضاوت مهندسی است. اگر بخواهیم عنوان آن را به فارسی ترجمه بکنیم می‌شود "محاسبات سرانگشتی ساختمان‌ها". من در آن کتاب، متدهایی را ارائه می‌دهم که از طریق محاسبه دستی، از چند خط تا یکی دو صفحه، بتوان جواب‌هایی را گرفت که انتظار دارید از نرم‌افزارها برای طراحی سازه‌های کوچک و بزرگ بگیرید. از جمله مثال‌هایی که در آن کتاب آورده‌ام، طرح سازه‌های ۵۰ و ۶۰ طبقه است که شما با نرم‌افزارهای مختلف به صورت خطی و غیرخطی انجام می‌دهید و بعضی از محاسبات غیرخطی چندین روز با سریع‌ترین کامپیوترها طول می‌کشد، ولی من به صورت سرانگشتی محاسبات را در یکی دو صفحه انجام می‌دهم و جوابی که به دست میآید شاید در حد ۱۰ الی ۱۵ درصد با جواب‌های نرم افزار فاصله دارد.

•بسیار عالی. به عنوان آخرین سوال چه توصیه‌ای برای مهندسین و قشر دانشگاهی کشورمان دارید که بتوانند میزان اطلاعات مهندسیشان را افزایش دهند؟

من شخصا فوق‌العاده افتخار می‌کنم به جامعه مهندسی، کیفیت دانشجویان ایرانی، کوشش و فعالیت‌شان و از خودگذشتگی که در یادگیری علم مهندسی نشان می‌دهند و امیدوارم در این زمینه موفق باشند. نظر من این هست که اولا خودشان را دست کم نگیرند، ثانیا خودشان را دست بالا هم نگیرند (با خنده)، یعنی با خودشان واقع بینانه برخورد کنند. وقتی به شکلی در رابطه با آینده کاری مهندسیشان تصمیمی می‌گیرند، این که چه می‌خواهند بکنند، کجا می‌خواهند زندگی کنند و اینها همه در اینکه چه بخشی از مهندسی عمران را انتخاب بکنند، روی چه چیزی تحقیق بکنند و ... موثرند. اگر مثلا منظور دانشجویی که به آمریکا می‌آید و دکتری می‌گیرد این است که به ایران برگردد آنگاه باید موضوعاتی را انتخاب کند که در رابطه با جامعه ایران جوابگوست و مسائلی از مسائل آنجا را حل می‌کند و اگر کسی هست که می‌خواهد در جای دیگری ادامه دهد، آنگاه موضوعاتی را که می‌بایست انتخاب کند فرق می‌کند. مساله دیگر این است که هر موضوعی را که انتخاب می‌کنند باید در رابطه با قدرت خودشان و در رابطه با تجربه و امکانات استاد راهنمای‌شان باشد. دروغ نیست اگر بگویم که هفته‌ای هفت، هشت ایمیل از ایران به من می‌رسد که از من می‌پرسند به نظر شما ما در ایران در چه موردی در رابطه با طراحی عملکردی تحقیق کنیم؟ جواب این سوال را من از اینجا، فاصله مثلا ۸۰۰۰ کیلومتری که نمی‌توانم بدهم. این جواب را می‌بایست شما با توجه به اینکه به چه چیزی علاقه دارید و استاد راهنمای‌تان چه موضوعاتی را کار می‌کند تعیین کنید.

•خیلی متشکر. استفاده کردیم از صحبت‌های شما استاد گرامی و از اینکه این لطف را در حق ما داشتید که بتوانیم با شما مصاحبه کنیم. از شما بی‌نهایت سپاسگزاریم. خسته نباشید.

من هم از لطف شما متشکرم.

با تشکر از موسسه آموزشی و مهندسی ۸۰۸
www.civil808.com

چگونه اقدام به نوشتن پایان نامه یا مقاله کنیم؟

علی حقانی
دانشجوی دکترای مهندسی عمران- زلزله دانشگاه صنعتی شریف

یکی از چالش‌های دانشجویان پس از اتمام تحلیل‌ها و نتایج، نحوه‌ی نگارش پایان‌نامه است. البته این مورد، در نگارش مقالات علمی و کتاب هم برای نویسندگان رخ می‌دهد. در این مقاله سعی شده‌است تا مطالبی در جهت تسهیل نگارش ارائه شود.

اغلب دانشجویان سعی می‌کنند از مقدمه و فصل اول شروع به نگارش پایان‌نامه یا مقاله کنند در حالی که این مورد اشتباه بزرگی محسوب می‌شود؛ زیرا مقدمه و فصل اول جزو آخرین مطالبی هستند که باید نوشته شوند. حال این سوال پیش می‌آید که «از کجا باید شروع کنیم؟». پیشنهاد می‌شود که در نگارش پایان‌نامه، از راحت‌ترین و قابل درک‌ترین بخشی که در حین کار داشتید شروع به نوشتن کنید. اغلب توصیه می‌شود که شما از فصل ۳ یا ٤ آغاز کنید، یعنی از بخشی که بیشترین درگیری را با آن داشته‌اید و در جریان ریز جزئیات آن هستید. یک پایان‌نامه در زمینه‌ی «ارزیابی رفتار لرزه‌ای یک ساختمان در برابر زلزله» را در نظر بگیرید، این پایان‌نامه می‌تواند شامل فصل‌های زیر باشد:

۱) مقدمه
۲) مبانی تئوری
۳) مدل‌سازی عددی
۴) شبیه‌سازی آزمایشگاهی
۵) نتایج
٦) جمع‌بندی

بهترین حالت برای شروع نگارش متن، نوشتن از فصل ۳ و ٤ است که در آن، دقیقاً می‌دانید چه کارهایی کرده‌اید و حال قصد دارید آنچه که در ذهن دارید را به روی کاغذ یا فایل word خود بیاورید. فقط کافیست آنچه در ذهن دارید را روی کاغذ پیاده کنید. نگران پراکندگی و ناپیوستگی مطالب هم نباشید، زیرا به مرور می‌توانید مطالب را جابه‌جا کنید و به نتیجه‌ی موردنظر خود برسید. فقط باید شروع کنید، حتی از چند خط. وقتی شروع کردید، آنگاه خواهید دید که مطالب پشت سر هم به ذهن شما می‌آید، همانطور که من حین نگارش متن فعلی، این کار را انجام داده‌ام.

پس از آنکه قدم اول را برداشتید و روند مدل‌سازی، تحلیل و یا شبیه‌سازی (یا آزمایش) خود را تا حد خوبی تکمیل کردید، می‌توانید سراغ فصل‌های ۲ یا ۵ بروید. این مورد هم کاملاً به شما وابسته است، اینکه نوشتن مطالب کدام فصل برایتان راحت‌تر است. اگر نمی‌دانید که در فصل ۲ یا ۵ دقیقاً چه بنویسید، اصلا نگران نباشید. در ادامه توضیحاتی ارائه می‌شود که تا حد قابل قبولی کارتان را راه می‌اندازد.

در فصل ۲، مطالبی بیان می‌شوند که پایه‌های تئوری و اصلی تحلیل‌های شما هستند. در واقع شما در این فصل، بیشتر روی مطالبی مانور می‌دهید که مربوط به تحقیقات، مقالات، کتب و پایان‌نامه‌های دیگران است. کافیست با نگاه خودتان و برداشتی که از مطالب دیگران داشتید، آنها را بیان کنید. همچنین می‌توانید بنویسید که دلیل استفاده از این مطالب در پژوهش شما چه بوده است.

قبل از اینکه راجع به نحوه‌ی نگارش فصل ۵ توضیح داده شود، بهتر است تفاوت فصل‌های ٤ و ۵ به طور مشخص بیان شوند.

در فصل ٤، معمولاً نتایج (Result)، یعنی خروجی‌های حاصل از تحقیق شما بیان می‌شوند. این خروجی‌ها به‌طور مستقیم ارائه می‌شوند و شما فقط آن‌ها را نشان می‌دهید. این نتایج (Result)، می‌توانند به‌صورت جدولی از اعداد یا نمودار و یا جدولی از پاسخ پرسشنامه باشند. اما در فصل ۵، هنر شما به عنوان یک پژوهشگر نمایان می‌شود. در فصل ۵ می‌توانید از مجموعه‌ای از اعداد و نمودارهایی که در فصل ۴ ارائه شدند، نتایجی را استخراج کنید و به این نتایج مفهوم بدهید. به این عمل، نتیجه‌گیری یا Conclusion گفته می‌شود که بسیاری از دانشجویان، به تفاوت این دو مورد، یعنی نتیجه‌گیری و دریافت خروجی توجه نمی‌کنند.

پس از نگارش فصول ۲ تا ۵، تنها فصلی که باقی می‌ماند، فصل اول یا مقدمه است که با توجه به نوع و حجم پژوهش نوشته می‌شود. قانون دقیقی در مورد حجم این فصل وجود ندارد ولی به‌صورت متوسط، این فصل در حدود ۱۵ تا ۲۰ صفحه در نظر گرفته می‌شود و به طور کلی روند انجام پژوهش را توضیح می‌دهد. در فصل اول، می‌توان به مواردی همچون هدف از انجام پژوهش، علت انتخاب موضوع، روند تحلیلی مورد نظر، روش تحلیل، روش مدل‌سازی و نتایج مورد نظر به طور خلاصه پرداخت. بنابراین براساس مطالبی که قبل از نگارش فصل اول نوشته شده‌اند، نویسنده کاملاً می‌داند که چه می‌خواهد بگوید، از کجا شروع کند و متن را در کجا به اتمام برساند.

آخرین گام برای نگارش پایان‌نامه یا مقاله، نوشتن چکیده است. در چکیده، کل موضوع پژوهش، از ابتدا تا انتها به طور خلاصه بیان می‌شود تا خواننده با خواندن این بخش با کلیت کار شما آشنا شود. به طور معمول در مقالات علمی، چکیده باید در قالب ۱۵۰ تا ۲۵۰ کلمه باشد و در پایان نامه ها هم بخش چکیده نهایتاً در حد یک صفحه‌ی A4 گنجانده می‌شوند.

در انتها از اساتید بزرگوارم، دکتر حسن مقدم، دکتر همایون استکانچی و دکتر فرناز صادق‌پور که این موارد را از آن‌ها آموختم تشکر می‌کنم. امیدوارم که این متن مورد رضایت شما واقع شده باشد.

معرفی کتاب
Book Introduction

عنوان کتاب: راهتو پیدا کن، آنچه در مدرسه یاد نمیگیرین

مؤلف: علی حقانی

ناشر: انتشارات تلاجن

سال چاپ: ۱۳۹۷

تعداد صفحات: ۱۴۸

کتاب "راهتو پیدا کن: آنچه در مدرسه یاد نمی‌گیرین"، نوشته‌ی علی حقانی، گپ و گفتی دوستانه و خودمانی درباره‌ی مسائلی همچون تعیین هدف و مسیر زندگی برای تمامی کسانی است که در حال تحصیل هستند.

در این کتاب قرار نیست جملات تکراری‌که خیلی از پدر و مادرها می‌گویند مانند «درس بخون تا یک چیزی بشـوی، درس بخون تا بهت احترام بگذارند و...» تکرار شود. این حرف‌ها به درد لای جرز دیوار می‌خورند، چون دلیل و منطق درست و حسابی ندارند. بعضی از پدرها و مادرها هم به بچه‌هایشان می‌گویند: « برو تجربی چون من دوست دارم پزشک بشوی». «خانواده‌ی ما یک مهندس هوافضا کم داره!» و از این دست حرف‌ها که بیشتر از سر جوگیر شدن هستند.

به قول زنده یاد خسرو شکیبایی در فیلم هامون: «اگر من اونی باشم که تو می‌خوای، پس دیگه من، من نیست. یعنی من خودم نیستم». متأسفانه این همان جمله‌ای است که به خیلی از پدر و مادرها یا حتی دایی، خاله، عمه، عمو و سایر اطرافیان دور و نزدیک باید گفت. احتمالاً با همین چند جمله مشـخص شده‌است که هدف این کتاب چیـــست. شما با مفاهیم این اثر هدف زندگی‌تان را تشخیص خواهید داد و بر اساس آن متوجه می‌شوید که بهتر است درس بخوانید یا نه.

علی حقانی در ابتدا قصد داشت این کتاب را برای دانش‌آموزان بنویسد. مخصوصاً آنهایی که می‌گویند دوست ندارند درس بخوانند و مدام پدر و مادرشان به آنها گیر می‌دهند که «چرا درس نمی‌خونی؟ چرا پای تلویزیون نشستی؟ چرا داری کتاب غیردرسی می‌خوانی؟ و...». ولی وقتی نوشتن کتاب به پایان رسید، به این نتیجه رسید که حتی بعضی از دانشجوهای در حال تحصیل هم می‌توانند از آن استفاده کنند.

در سه فصل اول این کتاب، شما در واقع می‌توانید به این نتیجه برسید که آیا ادامه تحصـیل برای شما مفید است یا نه؟ اگه برای شما مفید بود می‌توانید ادامه کتاب را مطالعه کنید و مهارت‌هایی مثل برنامه‌ریزی، تندخوانی، راه‌های مقابله با موانع و در نهایت شناخت و مقابله با کامل گرایی یا همون ایده‌آل گرایی را کسب کنید. اگر هم با مطالعه‌ی سه فصـل اول کتاب به این نتیجه رسیدید که بهتره فعلا ادامه تحصـیل ندهید، باز هم بخش قابل قبولی از ادامه‌ی کتاب می‌تواند به شما کمک کند. هر چند ممکن است هدیه دادن این کتاب به شخص دیگری، برای او هم کمک خوبی باشد.

در بخشی از کتاب راهتو پیدا کن می‌خوانیم:

تا حالا دقت کردین که تا تصـمیم می‌گیرین یه کاری انجام بدین کلّن همه چیز دست به‌دست هم میدن تا شما به تصـمیمی که گرفتین پایبند نباشین؟ مثلن تصـمیم می‌گیرین از امروز درس بخونین. دقیقن همون شب کلی مهمون میاد خونه‌تون. یا اینکه شـبکه‌ی ۴ یکی از جذاب‌ترین برنامه‌های تاریخش رو پخش می‌کنه، و یا کافیه رژیم بگیرین، دقیقن همون شب یا همون هفته به مهمونی‌هایی دعوت می‌شین که غذای مورد علاقه‌تون رو برای شام میارن و ده‌ها مورد مثل این...

دلیل این موارد بیشتر اینه که ذهن ما نسبت به تصمیمی که گرفتیم و عوامل تأثیرگذار حساس میشـه و به همین دلیل فکر می‌کنیم زمین و زمان دست به دست هم دادن که ما به هدفمون نرسیم، در حالیکه اینطور نیســـت. با این حال حتی اگر زمین و زمان بخوان شما به هدفتون نرسین، شما باید تمام تلاشتون رو بکنین تا نشـــون بدین که شایســـتگی رسیدن به هدفتون رو دارین. خیلی‌ها همون ابتدای راه کنار می‌کشـــن و ساده‌ترین و بی‌اثرترین راه رو انتخاب می‌کنن، یعنی «غر زدن یا بهانه‌تراشی». «برایان تریســی» در کتاب "بهانه‌تراشی ممنوع"، جمله‌ی جالبی گفته: «اگر مردم انرژی‌ای که صرف بهانه‌تراشی می‌کنن، صرف رسیدن به هدفشـون می‌کردن، به چنان موفقیتی می‌رسیدن که خودشون هم شگفت‌زده می‌شدن.»

افتخارات انجمن علمی

«به نام خدا»

شماره: ۲۰۶۰۸۱/و

انجمن علمی دانشجویی مهندسی عمران دانشگاه تربیت مدرس

رتبه اول بخش مسابقه در یازدهمین جشنواره ملی حرکت

بی شک رشد و تعالی علمی و فرهنگی کشور؛ و ساختن آینده ای درخشان و امید آفرین نیازمند پویایی، نشاط و خلاقیت برآمده از مسئولیت اجتماعی دانشگاه و دانشجویان است. در این مسیر انجمن های علمی دانشجویی و جشنواره ملی حرکت به مثابه فرصت و عرصه ای برای شکوفایی و حمایت از این توانمندی هاست.

اینک که در «یازدهمین جشنواره ملی حرکت» شاهد نمایش و درخشش موفقیت های دانشجویان در عرصه های مختلف علمی، هستیم، مراتب قدردانی و سپاس خود را تقدیم کوشندگان جوان عرصه علم، دانش و فناوری می نمایم. امید است با تعهد، تلاش و اندیشه نوآورانه شما، حرکت پرشتاب رشد و توسعه علمی و فرهنگی ایران اسلامی را شاهد باشیم.

منصور غلامی

وزیر علوم، تحقیقات و فناوری

پنجم آذرماه ۱۳۹۷

افتخارات انجمن علمی

دانشگاه تربیت مدرس

بسم الله الرحمن الرحیم

لوح سپاس

انجمن علمی- دانشجویی مهندسی عمران

توسعه علم و فناوری در گرو خلاقیت، خودباوری و تعهد است و هر گونه کوششی در این عرصه شایسته تقدیر و تکریم است. اینک که به فضل الهی شاهد برگزیده شدن انجمن علمی دانشجویی مهندسی عمران در «یازدهمین جشنواره ملی حرکت» به عنوان بزرگ‌ترین رویداد علمی- دانشجویی کشور هستیم؛ لازم می‌دانم از تلاش‌های بی‌دریغ، نوآوری و تلاشگری اعضای محترم هیات علمی، مشاور محترم فرهنگی، دبیر و اعضای شورای مرکزی انجمن که در سایه ایمان استوار و اندیشه روشن حاصل گشته است سپاسگزاری نمایم. توفیقات روزافزون شما را در راه توسعه علمی و فرهنگی کشور و اعتلای نظام مقدس جمهوری اسلامی ایران، از درگاه خداوند منان مسالت دارم.

دکتر محمد تقی احمدی
رییس دانشگاه

دانشگاه تربیت مدرس

Code: T-11 www.ionsanpsh.ir

افتخارات انجمن علمی

لوح تقدیر

جناب آقای مهندس زندی

دبیر محترم انجمن علمی دانشجویی دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست با سلام و احترام

به پاس دو دهه از تلاشهای انجمن علمی و در راستای تحقق اهداف دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، کسب موفقیت های متعدد آموزشی همچون دریافت تندیس از جشنواره حرکت، جذب تسهیلات انجمن برگزاری موفقیت آمیز مسابقات فوتبال و سال ۹۶، انتخاب دبیر محترم انجمن به عنوان دبیر همایش های علمی دانشگاه و انتخاب دکتر نظامت بر تشریفات صمیمانه تشکر و قدردانی می گردد.

موفقیت روزافزون انجمن علمی دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست از نتایج ارزنده تلاش متصل خواهیم. امید است در پرتو همدلی در راستای فعالیت های علمی و اخلاق و تعهد اعضای در تمام مراحل همواره پرتوان و سربلند باشد.

دکتر مهرداد عابدی

رئیس دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

اسفند ماه ۱۳۹۷

دهمین جشنواره ملی

حرکت

بسم الله الرحمن الرحیم

لوح سپاس

شماره: ۸۱/۱۲۵۲۴۸۶
تاریخ: ۱۳۹۶/۸/۲۴

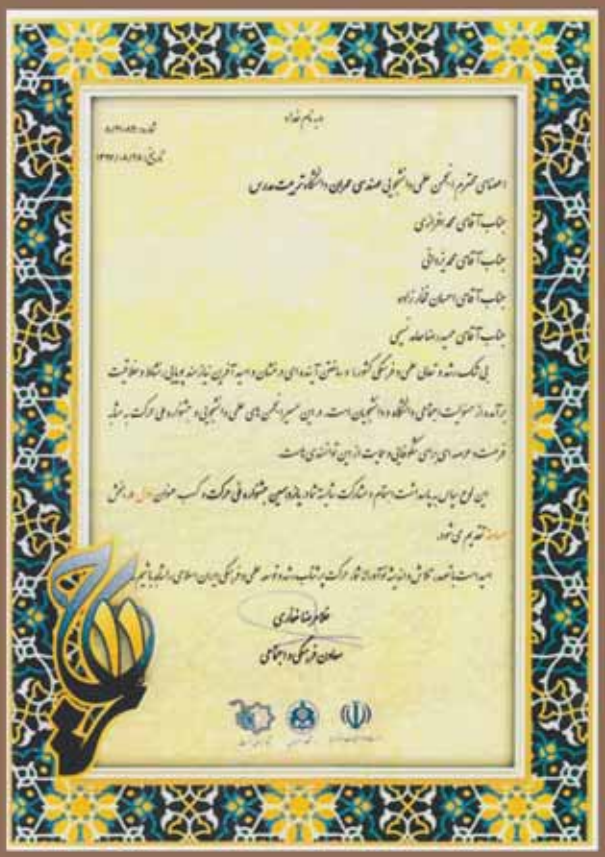
اعضای محترم انجمن علمی دانشجویی مهندسی عمران دانشگاه شریف مدرس

سرکار خانم مریم محمودی
جناب آقای محمد غفوری
جناب آقای محمد زندی

بی شک توسعه علم و فناوری و کسب موفقیت، تعهد بوده و حرکت کوشش دایم جهت پذیرفته و مکرم است. با تمک به اصل ایجاد بسترهای مناسب جهت رشد و حرکت به سمت نوآوری و خلاقیت، جشنواره ملی حرکت به عنوان بزرگترین رویداد علمی دانشجویی کشور، با تشویق و حمایت از فعالیت های علمی دانشجویان در سطح ملی و بین المللی، توانسته است به یکی از مهمترین رویدادهای علمی کشور تبدیل شود. نظر به اینکه انجمن علمی دانشجویی مهندسی عمران دانشگاه شریف در طول سال های متمادی با برگزاری برنامه های متنوع علمی، فرهنگی و اجتماعی توانسته است به عنوان یکی از فعال ترین انجمن های علمی دانشجویی کشور شناخته شود، این انجمن به عنوان نماینده دانشگاه شریف در جشنواره ملی حرکت شرکت نموده و در نهایت موفق به کسب عنوان برتر جشنواره در بخش تندیس تقدیم گردید.

ضمن تبریک به دبیر محترم انجمن و اعضای محترم هیئت مدیره، موفقیت روزافزون دانشجویان عزیز را در تمامی عرصه های علمی، فرهنگی و اجتماعی آرزومندیم.

فاضل ... بیرجی کهوری
مدیرکل فرهنگی و اجتماعی



به نام خدا

شماره: ۸۱/۱۲۵۲۴۸۵
تاریخ: ۱۳۹۶/۸/۲۴

اعضای محترم انجمن علمی دانشجویی مهندسی عمران دانشگاه شریف مدرس

جناب آقای محمد غفوری
جناب آقای محمد زندی
جناب آقای احسان قنبرزاده
جناب آقای حمید رضا صادقی نیکی

بی شک توسعه علم و فناوری و کسب موفقیت، تعهد بوده و حرکت کوشش دایم جهت پذیرفته و مکرم است. با تمک به اصل ایجاد بسترهای مناسب جهت رشد و حرکت به سمت نوآوری و خلاقیت، جشنواره ملی حرکت به عنوان بزرگترین رویداد علمی دانشجویی کشور، با تشویق و حمایت از فعالیت های علمی دانشجویان در سطح ملی و بین المللی، توانسته است به یکی از مهمترین رویدادهای علمی کشور تبدیل شود. نظر به اینکه انجمن علمی دانشجویی مهندسی عمران دانشگاه شریف در طول سال های متمادی با برگزاری برنامه های متنوع علمی، فرهنگی و اجتماعی توانسته است به یکی از فعال ترین انجمن های علمی دانشجویی کشور شناخته شود، این انجمن به عنوان نماینده دانشگاه شریف در جشنواره ملی حرکت شرکت نموده و در نهایت موفق به کسب عنوان برتر جشنواره در بخش تندیس تقدیم گردید.

ضمن تبریک به دبیر محترم انجمن و اعضای محترم هیئت مدیره، موفقیت روزافزون دانشجویان عزیز را در تمامی عرصه های علمی، فرهنگی و اجتماعی آرزومندیم.

غلامرضا صفدری
معاون فرهنگی و اجتماعی

به نام خدا

شماره: ۸۱/۱۲۵۲۴۸۴
تاریخ: ۱۳۹۶/۸/۲۴

اعضای محترم انجمن علمی دانشجویی مهندسی عمران دانشگاه شریف مدرس

جناب آقای محمد زندی
جناب آقای آرش ... زاده
جناب آقای محمد غفوری
جناب آقای فرهاد ... دوست
جناب آقای علی ... وندی
سرکار خانم مریم ... پاسالاری

بی شک توسعه علم و فناوری و کسب موفقیت، تعهد بوده و حرکت کوشش دایم جهت پذیرفته و مکرم است. با تمک به اصل ایجاد بسترهای مناسب جهت رشد و حرکت به سمت نوآوری و خلاقیت، جشنواره ملی حرکت به عنوان بزرگترین رویداد علمی دانشجویی کشور، با تشویق و حمایت از فعالیت های علمی دانشجویان در سطح ملی و بین المللی، توانسته است به یکی از مهمترین رویدادهای علمی کشور تبدیل شود. نظر به اینکه انجمن علمی دانشجویی مهندسی عمران دانشگاه شریف در طول سال های متمادی با برگزاری برنامه های متنوع علمی، فرهنگی و اجتماعی توانسته است به یکی از فعال ترین انجمن های علمی دانشجویی کشور شناخته شود، این انجمن به عنوان نماینده دانشگاه شریف در جشنواره ملی حرکت شرکت نموده و در نهایت موفق به کسب عنوان برتر جشنواره در بخش تندیس تقدیم گردید.

ضمن تبریک به دبیر محترم انجمن و اعضای محترم هیئت مدیره، موفقیت روزافزون دانشجویان عزیز را در تمامی عرصه های علمی، فرهنگی و اجتماعی آرزومندیم.

غلامرضا صفدری
مدیرکل فرهنگی و اجتماعی

شرکت پشم شیشه
مازند پارس

تامین کننده عایق‌های حرارتی و رطوبتی

- عایق حرارتی
  - پشم شیشه
  - پشم سنگ
  - پشم سرباره
  - پشم سرامیک
- عایق رطوبتی
  - ایزوگام

- تنوع در محصولات
- مشاوره رایگان

تماس با ما:
تهران/ خ سهروردی شمالی/ شماره ۳۱۷
+۹۸(۲۱)۸۸۴۲۸۴۶۹ ـ ۷۰
+۹۸(۲۱)۸۸۴۲۵۰۱۰
info@mazandpars.com
www.mazandpars.com

آدرس : تهران، بزرگراه جلال آل احمد، پل نصر، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی،
بلوک۶، طبقه دوم، دفتر انجمن علمی-دانشجویی عمران و محیط زیست

تلفن: ۸۲۸۸۴۹۱۴
دورنگار: ۸۲۸۸۴۹۱۵
شماره تماس : ۰۹۳۵۲۹۸۱۵۱۱

صندوق پستی: ۳۹۷-۱۴۱۱۵

Email: civil.eng@modares.ac.ir
Website: civil.modares.ac.ir
کانال ارتباطی : @TMU_CivilEngineering