



دانشگاه تربیت مدرس
معاونت دانشجویی
و فرهنگی - اجتماعی

Palar

شماره مجوز: ۱۹۳د/۳۲۶۸۷

انجمن علمی - دانشجویی عمران و
محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس
سال هفتم / شماره هفتم / اردیبهشت ۱۴۰۲
تیراژ ۴۰۰ نسخه

Palar Annual Scientific Journal
Student Scientific Association of Civil Engineering
and Environment of Tarbiat Modares University



معرفی گروه مهندسی ژئوتکنیک
ژئوسنتتیک‌ها

سازه راه‌ماهی یا Fishway

ساختمان‌های هوشمند

مصالح کامپوزیتی تقویت شده
با الیاف FRP در مهندسی عمران:
خصوصیات، مزایا و کاربردها

برداشت انرژی از سطح روسازی
با استفاده از سیستم‌های پیزوالکتریک

نشت از سامانه‌های آبرسانی
شهری و مولفه‌های موثر بر آن
بررسی نقش ارزیابی چرخه حیات
(LCA) در صنعت ساختمان‌سازی
سیستم‌های کنترل سازه

مصاحبه با دکتر وحید گلوی عضو
تیم برنامه‌نویسی نرم‌افزار ژئوتکنیکی
پلکسیس

روش‌های انتخاب و اصلاح شتاب
نگاشت‌ها در تحلیل تاریخچه زمانی

پالار

سالنامه علمی تخصصی پالار
سال هفتم / شماره هفتم / اردیبهشت ۱۴۰۳
تیراژ ۴۰۰ نسخه / قیمت ۱۰۰ هزار تومان
انجمن علمی-دانشجویی عمران و محیط زیست
دانشگاه تربیت مدرس

صاحب امتیاز

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

مدیر مسئول

الهام شکوهی مهر (دکتری مهندسی و مدیریت منابع آب)

سردبیر

سیدحمید علوی (کارشناس ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی)

هیئت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا)

پیام اسدی (دکتری مهندسی ژئوتکنیک)
حسین اعظمی (کارشناسی ارشد مهندسی ایمنی راه و ترابری)
مریم حمزه‌پور (کارشناسی ارشد مهندسی زلزله)
سبحان حیدریان (کارشناسی ارشد مهندسی عمران-مدیریت ساخت)
قربانعلی دزواره (هیئت علمی مهندسی عمران-محیط زیست)
رضا سرائی (کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی)
علی اکبر شاکری (کارشناسی ارشد مهندسی ساختمان‌های هوشمند)
الهام شکوهی مهر (دکتری مهندسی و مدیریت منابع آب)
کیومرث صاحبکار (هیئت علمی مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی)
سیدحمید علوی (کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی)
امیر کاووسی (هیئت علمی مهندسی راه و ترابری)
محسن محق‌نیا (کارشناسی ارشد مهندسی زلزله)
شیرین محمدبیگی (دکتری مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی)

طراح و صفحه آرا

آرزو انصاری

ویراستار

رضا سرایی
شیرین محمدبیگی

فهرست مطالب

بخش اول: عمومی

- ۱ سخن سردبیر
۲ معرفی گروه مهندسی ژئوتکنیک

بخش دوم: گزارش‌ها

- ۶ ژئوسنتتیک‌ها
۲۸ سازه راه‌ماهی یا Fishway
۳۸ ساختمان‌های هوشمند
۴۶ مصالح کامپوزیتی تقویت شده با الیاف FRP در مهندسی عمران: خصوصیات، مزایا و کاربردها
۶۰ برداشت انرژی از سطح روسازی با استفاده از سیستم‌های پیزوالکتریک
۶۶ سیستم‌های کنترل سازه

بخش سوم: مقالات

- ۱۶ روش‌های انتخاب و اصلاح شتاب نگاشت‌ها در تحلیل تاریخیچه زمانی
۵۲ نشت از سامانه‌های آبرسانی شهری و مولفه‌های موثر بر آن
۷۶ بررسی نقش ارزیابی چرخه حیات (LCA) در صنعت ساختمان‌سازی (مطالعه مروری)

بخش چهارم: مصاحبه

- ۸۶ مصاحبه‌ای با دکتر وحید گلوی عضو تیم برنامه‌نویسی نرم‌افزار ژئوتکنیکی پلکسیس

کلیه علاقه‌مندان به فعالیت در زمینه مطبوعات تخصصی حوزه عمران، صاحب نظران، محققین و اساتید محترم می‌توانند با ارسال مطالب و پیشنهادات خود به آدرس این نشریه و یا ارسال از طریق فکس و ایمیل، نسبت به طرح مطالب خود در هیئت تحریریه نشریه پالار اقدام نمایند.

آدرس: تهران، بزرگراه جلال آل احمد، پل نصر، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، بلوک ۶، طبقه دوم، دفتر انجمن علمی-دانشجویی عمران و محیط‌زیست
صندوق پستی: ۳۹۷-۱۴۱۱۵

تلفن: ۸۲۸۸۴۹۱۴
دورنگار: ۸۲۸۸۴۹۱۵
شماره تماس: ۰۹۳۵۲۹۸۱۵۱۱ کانال ارتباطی: @TMU_CivilEngineering

این نشریه دارای مجوز شماره ۱۹۳۵/۳۲۶۸۷ در تاریخ ۱۳۹۵/۱۰/۲۲ از معاونت دانشجویی، فرهنگی و اجتماعی دانشگاه تربیت مدرس است.

سخن سردبیر

نشریه پالار به همت اعضای انجمن علمی دانشجویی دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست دانشگاه تربیت مدرس تهیه شده است و اینجانب مفتخرم در شماره هفتم چاپ این نشریه به عنوان سردبیر نشریه در خدمت شما خوانندگان گرامی باشم.

نشریه پالار به موضوعات روز مهندسی عمران و محیط‌زیست می‌پردازد و دستاوردها و تحقیقات در مرز علم را با خوانندگان به اشتراک می‌گذارد. تاکنون، این نشریه در هر نوبت چاپ خود به معرفی یکی از گرایش‌های مهندسی عمران تمرکز داشته است و در این شماره نیز گروه مهندسی ژئوتکنیک دانشگاه تربیت مدرس معرفی شده است و به همین ترتیب، مصاحبه‌ای با یکی از متخصصان این زمینه تهیه شده است. در این شماره همچنین به ارائه موضوعات به روز از مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، راه‌وتراپی، سازه و محیط‌زیست و ... پرداخته شده است. امید است که برای خوانندگان نشریه مفید واقع شود.

نشریه پالار سال گذشته نیز همچون سال‌های پیش، موفق به کسب مقام در مسابقات دانشجویی شد و توانست رتبه برگزیده بخش نشریات فنی در پانزدهمین جشنواره بین‌المللی حرکت را کسب کند. از تمامی افرادی که در شماره قبل این نشریه همکاری داشته‌اند کمال تشکر را داریم. به دلیل موفقیت‌های هر ساله و جلب اعتماد پژوهشگران، ارائه مقالات به بهترین شکل، به صورت فرهنگ سازمانی این نشریه درآمده است. در همین راستا، تلاش مدیر مسئول، اعضای هیئت تحریریه، ویراستاران، طراح و اینجانب جهت حفظ این فرهنگ بوده است.

در پایان، از اساتید، پژوهشگران و دانشجویان علاقه‌مند، دعوت می‌شود تا در شماره‌های بعدی این نشریه همکاری نمایند. چاپ مقاله در این نشریه برای نویسنده مقاله علاوه بر فعالیت داوطلبانه علمی، امتیاز فرهنگی نیز دارد. این فعالیت داوطلبانه مورد توجه برخی دانشگاه‌ها و شرکت‌ها است و به عنوان امتیازی مثبت قلم‌داد می‌شود. امید است این همکاری‌ها باعث ارتقای سطح علمی مخاطبان شود و روحیه‌ی کار داوطلبانه در جامعه گسترش یابد.

سیدحمید علوی

سردبیر پالار



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



معرفی گروه مهندسی ژئوتکنیک



اعضای هیئت علمی (به ترتیب الفبا)

علی اکبر گلشنی



سوابق تحصیلی:
* دکتری- ۱۳۸۳
مهندسی عمران- مکانیک خاک و پی- دانشگاه سایپا-ما-ژاین
* کارشناسی ارشد- ۱۳۷۷
مهندسی عمران- مهندسی ژئوتکنیک- دانشگاه تهران- ایران
* کارشناسی- ۱۳۷۵
مهندسی عمران- دانشگاه علم و صنعت- ایران

علائق پژوهشی:

مدل سازی عددی و آزمایشگاهی شکست هیدرولیکی و گسترش ترک در سنگ
مهندسی تونل و سازه‌های زیرزمینی

احمد علی فحیمی



سوابق تحصیلی:
* دکتری- ۱۳۷۲
مهندسی عمران- مهندسی ژئوتکنیک- دانشگاه مینه سوتا- امریکا
* کارشناسی ارشد- ۱۳۶۶
مهندسی عمران- مهندسی ژئوتکنیک- دانشگاه شیراز- ایران
* کارشناسی- ۱۳۶۳
مهندسی عمران- علم و صنعت- ایران

علائق پژوهشی:

روش اجزا محدود و اجزا مجزا در مدل سازی مصالح ژئوتکنیکی
مکانیک شکست
پلاستیسیته و کاربرد آن در مکانیک خاک و سنگ
برنامه نویسی برای تحلیل عددی مصالح ژئوتکنیکی
تست برجا روی مصالح ژئوتکنیکی

محمد نوروزعلیایی



سوابق تحصیلی:
* دکتری- ۱۳۸۶
مهندسی عمران- مهندسی ژئوتکنیک- دانشگاه صنعتی شریف- ایران
* کارشناسی ارشد- ۱۳۷۹
مهندسی عمران- مهندسی ژئوتکنیک- دانشگاه تربیت مدرس- ایران
* کارشناسی- ۱۳۷۷
مهندسی عمران- دانشگاه صنعتی اصفهان- ایران

علائق پژوهشی:

مدل سازی عددی پدیده‌های ژئوتکنیکی
انرژی‌های نو
گودبرداری عمیق

علی کمک پناه



سوابق تحصیلی:
* دکتری- ۱۳۶۹
مهندسی عمران- دانشگاه توهوگو- ژاین
* کارشناسی ارشد- ۱۳۵۸
مهندسی ساختمان- دانشگاه تبریز- ایران
* کارشناسی- ۱۳۵۵
مهندسی عمران- دانشگاه تبریز- ایران

علائق پژوهشی:

ژئوتکنیک لرزه‌ای و اندرکنش خاک و سازه
مهندسی تونل و سازه‌های زیرزمینی
بهسازی خاک و پی

محمود یزدانی



سوابق تحصیلی:
* دکتری- ۱۳۸۱
مهندسی عمران- مکانیک سنگ- دانشگاه توکیو- ژاین
* کارشناسی ارشد- ۱۳۷۴
مهندسی عمران- مهندسی ژئوتکنیک- دانشگاه تهران- ایران
* کارشناسی- ۱۳۷۱
مهندسی عمران- دانشگاه تهران- ایران

علائق پژوهشی:

مطالعه پدیده آب شستگی در مصالح دانه‌ای
تحلیل هیدرولیکی توده‌های سنگی

این گروه در تعداد قابل توجهی از پروژه‌های صنعتی مشارکت کرده است که در این راستا به عنوان نمونه می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- نوشتن نرم‌افزار CA2 برای تحلیل عددی مواد خاکی و سنگی؛
- مشارکت در طراحی تعداد قابل توجهی از سدهای بزرگ خاکی، سنگریزه‌ای و RCC در کشور؛
- مشارکت در طراحی تعداد قابل توجهی از تونل‌ها، ایستگاه‌های مترو و سازه‌های زیرزمینی؛
- مشارکت در طراحی و ساخت سازه‌های پیشرفته و با فناوری مدرن همانند پل‌های کابلی، پل‌های سگمندی، ساختمان سوپرپریم، طراحی و اجرای تعداد زیادی از گودبرداری‌های عمیق سازه‌ها با تکنیک‌های مختلف؛
- طراحی و ساخت حجم بسیار زیادی از دیوارهای بلند خاک مسلح در پروژه‌های شهرسازی، پل‌سازی، راه‌سازی و غیره.

به‌علاوه تاکنون چندین کتاب توسط این گروه به چاپ رسیده و در اختیار علاقه‌مندان قرار گرفته است.

آزمایشگاه ژئوتکنیک از سال ۱۳۷۳ فعالیت خود را آغاز کرده است. کلیه آزمایش‌های پایه مکانیک خاک شامل آزمایش‌های شناسایی، مقاومتی، آزمایش سه محوری استاندارد و نیمه اشباع و تحکیم روی نمونه‌های با قطر بزرگ قابل انجام است.

مهندسی ژئوتکنیک شاخه‌ای از مهندسی عمران است که رفتار مکانیکی خاک، سنگ و سازه‌های ساخته شده با آن‌ها را بررسی می‌کند. بررسی مقاومت و مقاوم‌سازی شالوده‌ی سازه‌ها، ارتباط مستقیمی با ژئوتکنیک لرزه‌ای و دانش رفتار خاک و سنگ، تحت بارهای دینامیکی نظیر زلزله دارد. ژئوتکنیک لرزه‌ای ضمن مطالعه مکانیزم سازوکار زمین در تولید زلزله، نحوه حرکت زلزله در ساختارهای متنوع زمین را بررسی کرده و زلزله طرح را مشخص می‌کند. در حوزه‌ی انرژی نیز به‌کارگیری این رشته کاملاً حیاتی است. به‌عنوان مثال در کاربرد انرژی زمین گرمایی، ذخیره‌سازی نفت و گاز مایع و نیز مهندسی نفت نقش اساسی این رشته مشهود است. مهندسی ژئوتکنیک در زمینه دفن زباله‌های اتمی نیز که موادی سمی است، نقش اساسی دارد تا مطالعه اثرات متقابل رفتار مکانیکی خاک و سنگ و تغییر شکل‌های حرارتی مورد بررسی قرار گیرد. کاربرد دیگر مهندسی ژئوتکنیک در پروژه‌های دفاعی کشور است. به‌طور خاص پایداری یک سازه زیرزمینی در اثر بارهای انفجار باید مورد مطالعه قرار گیرد و این موضوع نیازمند متخصصان ژئوتکنیک است که با رفتار مکانیکی مواد در سرعت‌های بارگذاری بالا آشنایی دارند.

گروه مهندسی خاک‌وبی دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست دانشگاه تربیت مدرس در سطح کارشناسی‌ارشد در سال ۱۳۷۰ تأسیس شد. در سال ۱۳۸۷ این گروه به پذیرش دانشجویان دکترای تخصصی اقدام کرد و تاکنون موفق شده است که تعداد زیادی متخصص ژئوتکنیک را به جامعه علمی کشور تقدیم کند.

یکی از اهداف مهم گروه ژئوتکنیک دانشگاه تربیت‌مدرس ساخت دستگاه‌های پیشرفته آزمایشگاهی برای انجام تحقیقات در سطوح دانشجویان دکتری و پروژه‌های کلیدی تخصصی است. در این راستا تاکنون تعداد زیادی دستگاه طراحی و ساخته شده است.



آزمایشگاه ژئوتکنیک دانشگاه تربیت مدرس



ژئوسنتتیک‌ها



نویسنده: شیما محمدبیگی
دانشجوی دکتری مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه و معرفی ژئوستتیک‌ها

ژئوستتیک یک اصطلاح کلی جهت توصیف محصولات بوده که حداقل یکی از مولفه‌های آن از مواد مصنوعی یا پلیمرهای طبیعی به صورت صفحه‌ای، نواری یا سه بعدی ساخته شده باشد. این سازه‌ها در تماس با خاک و دیگر مصالح در مهندسی عمران و ژئوتکنیک به کار می‌رود. پلیمرهای طبیعی و سنتتیک یا مصنوعی از لحاظ نحوه تولید و تجزیه دارای تفاوت‌های اساسی می‌باشند. به این صورت که پلیمرهای طبیعی پلیمرهایی هستند که در طبیعت یافت می‌شوند. این در حالی است که پلیمرهای سنتتیک به صورت مصنوعی در آزمایشگاه ساخته می‌شود. همچنین پلیمرهای طبیعی در طبیعت قابل تجزیه بوده و پلیمرهای سنتتیک به صورت طبیعی قابل تجزیه نمی‌باشند. ژئوستتیک‌ها انواع مختلفی

داشته و عموماً بر حسب نفوذپذیری یا نفوذناپذیری بودن به دو گروه اصلی ژئوتکستایل‌ها و ژئوممبرین‌ها و نیز ترکیبات مرتبط با این دو گروه دسته‌بندی می‌شوند. علاوه بر این موارد امکان ساخت ژئوتکستایل به صورت ژئوسیستم‌هایی به فرم کیسه‌های ژئوتکستایل، لوله‌ها، مخازن و ... نیز وجود دارد. ژئوستتیک‌ها به صورت رول با عرض ۲-۹ متر، بسته به نوع ژئوستتیک تولید و به مشتری تحویل داده می‌شوند. همان طور که توضیح داده شد ژئوستتیک‌ها از ترکیب پلیمرهای مختلف ساخته می‌شوند. انواع و مشخصات این پلیمرها مطابق جدول زیر است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی پلیمرهای سازنده ژئوستتیک‌ها (PIANC, 2011)

Polymer	Density (kg/m ³)	Tensile strength 20°C (N/mm ²)	Elasticity (N/mm ²)	Strain at failure (%)	Melting point (°C)
Polyester	1,380	800 - 1,200	12,000 - 18,000	8 - 15	250
Polypropylene	900	400 - 600	2,000 - 5,000	10 - 40	160
Polyethylene LDPE	920	80 - 250	200 - 1,200	20 - 80	110
Polyethylene HDPE	950	350 - 600	600 - 6,000	10 - 45	135
Polyamide	1,140	700 - 900	3,000 - 4,000	15 - 30	220
Polyvinylchloride PVC	1,250	18 - 50	10 - 100	50 - 150	-

ژئوتکستایل‌ها

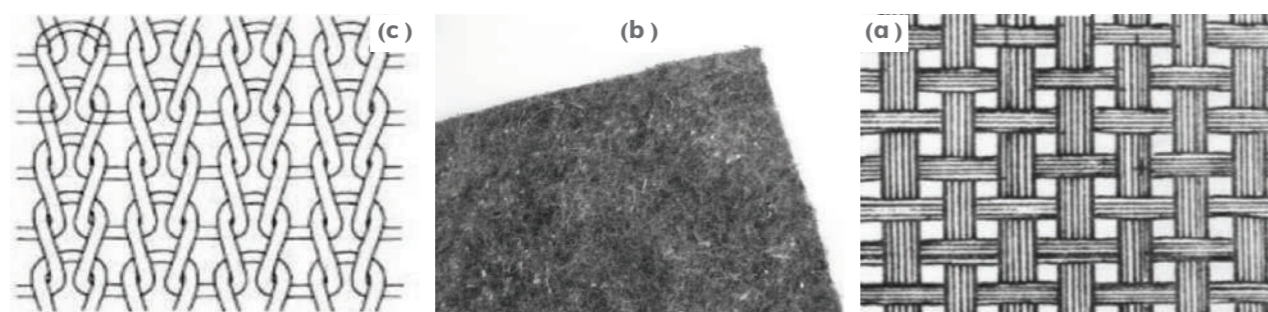
ژئوتکستایل‌ها عموماً به سه گروه تقسیم می‌شوند:

- ژئوتکستایل‌های بافته شده به صورت تار و پود (GTX-W)؛
- ژئوتکستایل‌های بافته نشده (GTX-N)؛
- ژئوتکستایل‌های بافته شده به صورت قلابی شکل (GTX-K)؛

شکل هر کدام از این نوع ژئوتکستایل‌ها مطابق ذیل می‌باشد.

هیچ ماده ژئوستتیک به صورت صددرصد از رزین پلیمر ساخته نشده و رزین اصلی ترکیب یا فرموله شده با آنتی اکسیدان‌ها، مواد شیشه‌ای، پرکننده‌ها و دیگر مواد می‌باشند. مقدار افزودنی‌ها از ۱ تا ۵ درصد متغیر است. کاربرد این افزودنی‌ها جذب اشعه UV، آنتی‌اکسیدان بودن و تثبیت‌کننده دما می‌باشد. به طور مثال پلی‌الفین‌ها که ترکیب پلی‌پروپیلین‌ها و پلی‌اتیلین‌ها است از آب سبک‌تر می‌باشد. این در حالی است که پلی‌استرها در آب فرو می‌روند. همه مواد پلیمری نقطه ذوب بالایی دارند. مشخصات تولیدات نهایی نقطه نظر اصلی برای طراحان و کاربران می‌باشد.

حال به توضیح هر کدام از انواع ژئوستتیک‌ها پرداخته می‌شود.

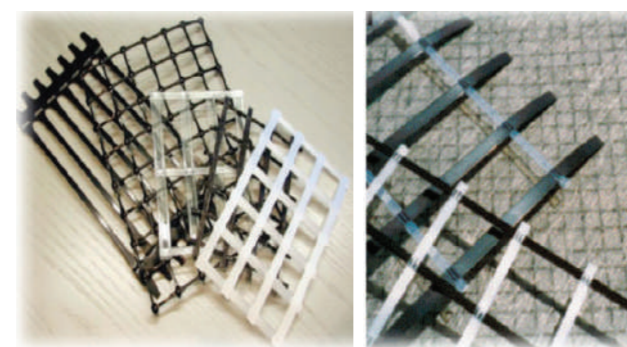


شکل ۱- انواع مختلف ژئوتکستایل‌ها (a GTX-W (b GTX-N (c GTX-K)

تولیدات مرتبط با ژئوتکستایل‌ها

در این قسمت به معرفی انواع مختلف تولیدات مرتبط با ژئوتکستایل‌ها پرداخته می‌شود.

ژئوگریدها (GGR): این ترکیبات صورت‌های مختلف بافته شده، از قالب در آورده شده و به صورت خطی تولید می‌شوند. سوراخ‌ها و دهانه‌های ژئوگریدها به آنها این امکان را می‌دهد که در زمین توسط اندرکنش بین خاک و ژئوگرید محکم شوند.



شکل ۲- ژئوگریدها (GGR)

ژئونت‌ها (GNT): ژئونت‌ها شامل یک سری شیار موازی با یکدیگر هستند که در زوایای مختلف به طور مشابه تماماً به هم متصل می‌باشند و بیشتر به عنوان لایه زهکش تراکم‌ناپذیر تحت سربارهای فشاری با مقدار زیاد به کار می‌روند. چون ظرفیت زهکش درون صفحه‌ای بالایی دارند می‌توانند به عنوان هسته زهکش بین دو لایه نفوذناپذیر برای کنترل زهکش قرار گیرد یا به عنوان زهکش در لایه‌های خاک در ترکیب با ژئوتکستایل‌های حمل‌کننده و پوششی مورد استفاده قرار گیرند.

شکل زیر نمایانگر یک ژئونت است.



شکل ۳- ژئونت GNT

ژئوسل‌ها (GCE): ژئوسل‌ها دارای ساختار شبکه‌ای به صورت تار عنکبوت یا کندوی عسل و یک پلیمر سنتتیک نفوذپذیر سه بعدی می‌باشند. در ژئوسل‌ها عموماً از نوارهای متناوب متصل ژئوممبرین یا ژئوتکستایل استفاده می‌شود. این تناوبی بودن نوارها باعث نگهداشتن ذرات خاک، ریشه‌ها و پوشش گیاهی شده و در مهندسی عمران و ژئوتکنیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاربرد ژئوسل‌ها انتقال بارهای رو به پایین در صفحه قرار گرفته در جهت عمود بر ساختار ژئوسل و خاک است.



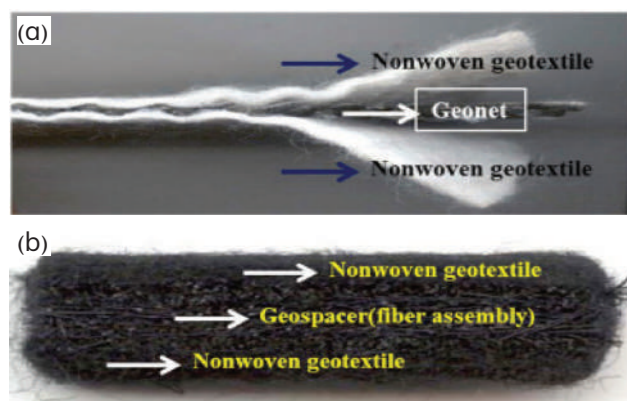
شکل ۴- یک ژئوسل قرار گرفته در بین خرده سنگ‌ها

ژئومت‌ها (GMT): ژئومت یک سازه نفوذپذیر سه بعدی و ساخته شده از پلیمر تک‌رشته‌ای و یا دیگر المان‌ها می‌باشد. این المان‌ها به صورت مکانیکی، دمایی یا شیمیایی به هم محکم شده‌اند. ژئومت‌ها برای کنترل فرسایش و تسلیح ریشه‌های چمن‌ها و گیاه‌های کوچک بیشتر در شیب‌ها به کار می‌رود.

۱ اختصار شده Woven geotextiles

۲ اختصار شده Nonwoven Geotextiles

زیر آب در لایه‌های پایه سازه‌های دور از ساحل را بهینه می‌کند. این تولیدات به عنوان فیلترهایی جهت فروردن تشک‌های ساخته شده از شاخ و برگ که در روی زمین ساخته شده‌اند در آب به کار می‌روند.



شکل ۶- لاینر رسی ژئوسنتتیک (GCL)

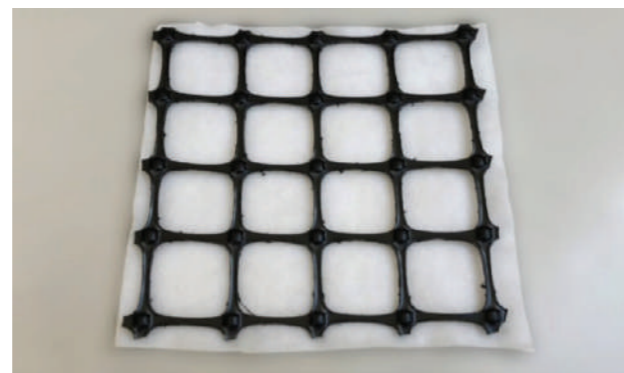
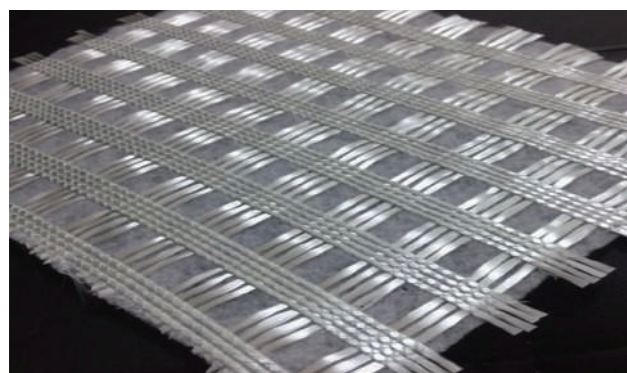
ژئوکامپوزیت‌ها (GCO)

شامل مواد ساخته و مونتاژ شده با حداقل یکی از تولیدات ژئوسنتتیک به همراه متریال‌های دیگر می‌شود. ساده‌ترین دلیل برای ایجاد ژئوکامپوزیت‌ها ترکیب ویژگی‌های مختلف مواد برای رسیدن به بهترین راه حل برای یک کاربرد خاص می‌باشد. این تولیدات ترکیبی از ژئوتکستایل‌ها، ژئونت‌ها و ژئوممبرین‌ها به صورت واحدهای ساخته شده در کارخانه بوده و در موقعی کاربرد دارد که یک یا چند ویژگی از آنها جهت به کار بردن نیاز باشد و یا اینکه چندین مشخصه از محصولات مختلف در یک زمان مورد نیاز باشد.

به‌طور مثال در کامپوزیت‌های ژئوتکستایلی ترکیب انواع بافته شده و بافته نشده ژئوتکستایل توسط سوزن‌دوزی آن‌ها به هم مزایای بافته شده‌ها (مقاومت کششی برای محدود کردن کرنش) و بافته نشده‌ها (روکش جهت بالا بردن بازده فیلتراسیون) را با یکدیگر ترکیب کرده و این امر نصب

مطابق شکل بالا زمانی که یک ژئوتکستایل روی یکی از طرفین ژئونت یا ژئومت به کار می‌رود جداسازی و فیلتراسیون همواره محقق می‌شود و قابلیت زهکش به‌طور عمده‌ای در مقایسه با ژئوتکستایل به تنهایی بهبود پیدا می‌کند. در تمام موارد مایع از طریق ژئوتکستایل نفوذ کرده و به صورت صفحه‌ای در هسته ژئونتی یا ژئومتی زهکشی می‌شوند.

در کامپوزیت‌های ژئوگریدی ژئوگریدها به صورت محکم شده یا قرار گرفته در بین شبکه‌های یکپارچه شده با ژئوتکستایل‌های بافته شده می‌تواند به عنوان کامپوزیت جهت فراهم‌آوری تسلیح لایه‌های جداکننده در یک نصب به کار رود.



شکل ۸- تصاویری از کامپوزیت‌های ژئوگریدی



شکل ۵- ژئومت‌های به کار رفته در تسلیح گیاهان



ژئوممبرین‌ها

ژئوممبرین‌ها تولیداتی نفوذناپذیر بوده و به صورت صفحاتی در رول‌های به عرض ۵ الی ۹ متر تولید می‌شوند. ضخامت ژئوممبرین‌ها حداقل ۱ میلی‌متر بوده و به دلیل نفوذناپذیر بودن خود برای اهداف لاینینگ به کار می‌رود. گاهی صفحات تولید شده از فویل نیز نازک‌تر می‌باشند اما برای کاربرد در مهندسی هیدرولیک حداقل ضخامت ۲ میلی‌متر توصیه می‌شود. این تولیدات در برابر سیالات و پخش گازها نفوذناپذیر بوده و با افزودن ذغال سیاه به ترکیبات آن قابلیت جذب اشعه‌ی UV را نیز پیدا می‌کند.

ژئوممبرین‌ها انواع مختلفی داشته برخی از مهم‌ترین انواع ژئوممبرین‌ها عبارت‌اند از:

- ♦ ژئوممبرین HDPE^۱: از جمله ویژگی‌های این نوع ژئوممبرین دوام، جذب قوی اشعه UV و مصالح سازنده نسبتاً ارزان است.
- ♦ ژئوممبرین LDPE^۲: فراهم کردن انعطاف‌پذیری هرچه بیشتر در مقایسه با نوع HDPE، مقاومت در برابر دمای کم و اشعه UV از جمله مشخصات این نوع ژئوممبرین است.
- ♦ ژئوممبرین PVC^۳: این نوع ژئوممبرین از مصالح عایق رطوب و دما، نرم کننده‌ها، پایدارکننده‌ها و مقاوم در برابر سایش و سوراخ‌شدگی ساخته شده‌است. این نوع تولیدات بسیار انعطاف‌پذیر می‌باشند.
- ♦ ژئوممبرین EPDM^۴: این تولیدات جنس لاستیکی دارد. همچنین دوام و انعطاف‌پذیری بالایی داشته و در برابر اشعه UV مقاومت زیادی از خود نشان می‌دهد.

- ♦ ژئوممبرین RPP^۵: انعطاف‌پذیری بالا، مقاومت در برابر عوامل شیمیایی، پایداری و دوام از مشخصات مهم این نوع ژئوممبرین‌ها است.
- ♦ ژئوممبرین TRP^۶: این نوع ژئوممبرین خواص مشابه RPP داشته و برای اهداف لاینینگ گزینه ایده‌آلی به شمار می‌آید.

تولیدات مرتبط با ژئوممبرین

این تولیدات تک‌لایه یا چندلایه که به صورت در محل یا صنعتی ساخته می‌شوند در برابر آب تقریباً نفوذناپذیر بوده و در کارهای ژئوتکنیکی و مهندسی عمران به کار می‌رود. در بین تولیدات مرتبط با ژئوممبرین از نرم لاینر رسی ژئوسنتتیک (GCL) بیشتر استفاده می‌شود. سازه‌های مونتاژ شده در کارخانه و از مواد ژئوسنتتیک با پودرهای بنتونیت با هدایت هیدرولیکی پایین ساخته شده و به صورت دانه‌ای تولید می‌شود. این تولیدات به صورت صفحه‌ای در تماس با خاک بوده لایه رس یا بنتونیت (برای مثال کائولن یا ژئولیت طبیعی یا مصنوعی) به صورت کپسولی بین ژئوتکستایل‌های پوشاننده و حمل‌کننده قرار می‌گیرد. هدایت هیدرولیکی پایین توسط بنتونیت که بعد از هیدراسیون برف می‌کند به دست می‌آید. تمام مولفه‌ها با سوزن‌دوزی محکم می‌شود. در رول‌هایی از لاینرهای رسی با عرض ۴ تا ۵ متر و ضخامت تا یک سانتی‌متر تولید می‌شود. بسته به کیفیت بنتونیت یک جرم بنتونیتی ۳ تا ۸ کیلوگرم بر متر مربع به عنوان آب‌بند برای یک GCL به کار می‌رود.

1 High-Density Polyethylene
2 Linear Low-Density Polyethylene
3 Polyvinyl Chloride
4 Ethylene Propylene Diene Monomer

5 Reinforced Polypropylene
6 Reinforced Polyethylene

ژئوسیستم‌ها

ژئوسیستم‌ها در واقع المان‌های ژئوتکستایلی پر شده با ماسه می‌باشد. این تولیدات شامل یک پوشش ژئوتکستایلی بوده که در محل با ماسه اصلاح شده پر می‌شود. این المان‌ها به صورت‌های زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

♦ تشک‌ها: تشک‌ها شامل تعداد زیادی المان ژئوتکستایلی پر شده با ماسه می‌باشد که به صورت لایه‌ای بر روی محل مورد نظر قرار می‌گیرد.



شکل ۱۱- تشک‌های پر شده با ماسه یا ملات

♦ کیسه‌ها: کیسه‌ها مانند تشک‌ها نیز المان‌های ژئوتکستایلی پر شده با ماسه به حجم‌های ۰/۳ تا ۵ مترمکعب است.



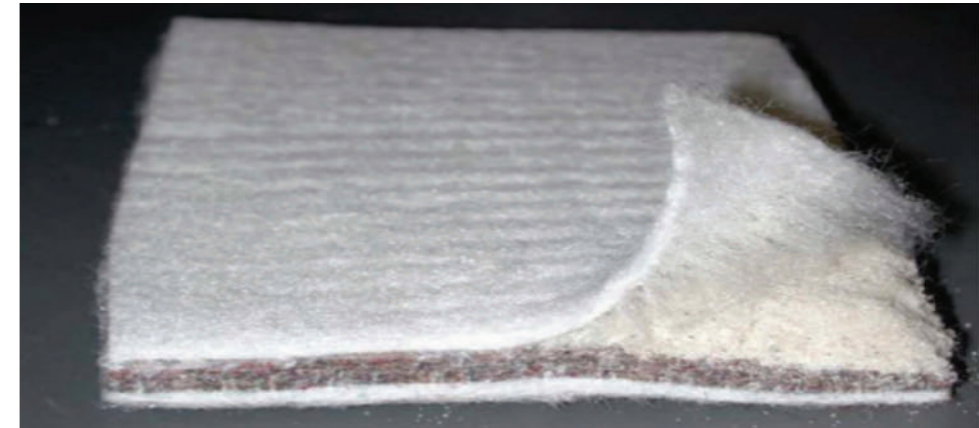
شکل ۱۲- کیسه‌های ژئوتکستایلی پر شده با ماسه

♦ مخازن: دارای حجم پرکنندگی بین ۱۰۰ تا ۶۰۰ متر مکعب و مطابق شکل زیر است.



شکل ۱۳- مخازن عظیم ژئوتکستایلی جهت حمل و انتقال مصالح دانه‌ای

همچنین در کامپوزیت‌های خاک و ژئوتکستایل یک کفپوش ماسه‌ای ژئوتکستایلی می‌تواند برای بستن شاخ و برگ و فرورفتن تشک‌ها استفاده شود. روکش‌های ماسه‌ای به‌طور کپسولی بین دو فیلتر ژئوتکستایل توسط سوزن دوزی کل لایه‌ها به هم قرار می‌گیرد. روکش ماسه‌ای تا ۶ کیلوگرم بر متر مربع وزن داشته و می‌تواند در سطح شیب‌دار نیز قرار



شکل ۹- کامپوزیت خاک و ژئوتکستایل

محصولات مرتبط با ژئوستنتیک

در این بخش به معرفی برخی از محصولات مرتبط با ژئوستنتیک پرداخته می‌شود. یکی از این محصولات مستحکم کننده‌های زمین (GC) می‌باشد. این تولیدات سیمی شکل و به صورت چندضلعی بوده و بعد از ریختن بر



(b)



(a)

شکل ۱۰- (a) یک المان مستحکم کننده زمین (b) لایه ای از المان‌های مستحکم کننده زمین

♦ تیوب‌ها: از ژئوتکستایل‌های دایروی با طول زیاد تشکیل شده است. این المان‌ها به صورت هیدرولیکی با ماسه پر می‌شوند.

تمامی تولیدات گفته شده را می‌توان با ماسه، خرده سنگ، ملات و یا ترکیبی از آن‌ها پر کرد. این تولیدات برای اهداف لایروبی و محافظت در برابر فرسایش بدنه سد، کناره‌های رودخانه و سواحل به کار می‌روند و نسبت به موارد سنگی و خاکی مشابه خود دارای مزایایی از جمله انتقال آسان و در نتیجه هزینه‌ی پایین‌تر حمل و نقل هستند.

دیگر منابع

منابع

1. Koerner, R.M. (2005): "Designing with geosynthetics", Fifth edition, Pearson Prentic Hall, New Jersey, USA.
2. Van Santvoort, G. (1994): "Geotextiles and geomembranes in civil engineering", Taylor & Francis.
3. Mueller, W. (2007): "HDPE Geomembranes in Geotechnics", Springer Verlag, Berlin, 2007.
4. Pilarczyk, K. (2000): "Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering", Balkema, Rotterdam, 2000.
5. Recio, J. (2008): "Hydraulic Stability of Geotextile Sand Containers for Coastal Structures-Effect of Deformations and Stability Formulae", Leichtweiss-Institute for Hydrodynamics and Coastal Engineering, Technical University Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig.
6. Heibaum, M., Fourie, A., Girard, H., Karunaratne, G.P. et al. (2006): "Hydraulic Applications of Geosynthetics", Proceedings of the 8th International Conference on Geosynthetics (8ICG), Yokohama, Japan, September 18-22, 2006.
7. Kim, Y. C. editor (2009): "Handbook of coastal and Ocean Engineering", World Scientific Publishing.
8. Saathoff, F. (2001): "Geosynthetics in geotechnical and hydraulic engineering", Geotechnical Engineering Handbook, Volume 2: Procedures. Ernst & Sohn Verlag Berlin 2003, p. 507-597.
9. Oumeraci, H., Hinz, M., Bleck, M. and Kortenhaus, A. (2003): "Sand-filled geotextile containers for shore protection", Proc. COPEDEC, Colombo, Sri Lanka (2003).
10. Oumeraci, H., Kortenhaus, A. and Werth, K. (2007): "Hydraulic performance and armour stability of rubble mound breakwaters with core made of geotextile sand containers-Comparison with conventional breakwaters", Proc. Intern. Conf. on Coastal Structures, Venice, ASCE, (2007).
11. Grüne, J., Sparboom, U., Schmidt-Koppenhagen, R., Wang, Z. and Oumeraci, H. (2007): "Stability test of geotextile sand containers for monopile scour protection", ASCE Proc. Inter. Conf. Coastal Eng., Sand Diego, USA, pp. 5093-5105 (2006).
12. Schlie, S., Opfermann, B. and Retzlaff, T. (2008): "Change Of An Old Navy Base To A Modern Marina In Boltenhagen (Baltic Sea)", Chinese-German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering, August 24-30, 2008, Darmstadt.
13. PIANC REPORT N° 113, 2011. The Application of Geosynthetics in Water front Areas, MARITIME NAVIGATION COMMISSION.
1. EN 12224: "Geotextiles and geotextile-related products-Determination of the resistance to weathering."
2. EN 12225: "Geotextiles and geotextile-related products-Method for determining the microbiological resistance by a soil burial test."
3. EN13251:2001: "Geotextiles and geotextile-related products. Characteristics required for use in earthworks, foundations and retaining structures."
4. EN13252:2001: "Geotextiles and geotextile-related products. Characteristics required for use in drainage systems."
5. EN13253:2001: "Geotextiles and geotextile-related products. Characteristics required for use in erosion control works (coastal protection, bank revetments)."
6. EN 13254:2000: "Geotextiles and geotextile-related products-Characteristics required for use in the construction of reservoirs and dams."
7. EN 13255:2001: "Geotextiles and geotextile-related products. Characteristics required for use in the construction of canals."
8. EN13361:2004: "Geosynthetic barriers. Characteristics required for use as a fluid barrier in the construction of reservoirs and dams."
9. EN13362: "Geosynthetic Barriers-Characteristics required for use in the construction of canals."
10. EN ISO 10320: "Geotextiles and geotextilerelated products-identification on site (ISO 10320:1999)."
11. EN ISO 10722-1: "Geotextiles and geotextilerelated products-Procedure for simulating damage during installation-Part 1: Installation in granular materials (ISO 10722-1:1998)."
12. EN ISO 12957-1: "Geosynthetics-Determination of friction characteristics-Part 1: Direct shear test (ISO 12957-1:2005)."
13. EN ISO 13431: "Geotextiles and geotextile-related products-Determination of tensile creep and creep rupture behavior (ISO 13431:1999)."
14. EN ISO 10318:2005: "Geosynthetics-Terms and definitions (Trilingual version EN ISO 10318:2006)."



روش‌های انتخاب و اصلاح شتاب نگاشت‌ها در تحلیل تاریخچه زمانی

خلاصه

شتاب نگاشت‌های اعمال شده در تحلیل‌های تاریخچه زمانی، در دو مرحله مورد بررسی و پردازش قرار می‌گیرند. در مرحله اول آن‌ها متناسب با ویژگی سایت مورد نظر انتخاب می‌شوند و در مرحله دوم بر اساس طیف هدف مورد اصلاح قرار می‌گیرند. انتخاب و اصلاح شتاب نگاشت‌ها جزء مسائلی در تحلیل‌های تاریخچه زمانی است که دانشمندان و محققان هم‌چنان روی آن تحقیق کرده و به رویکردهای جدید دست می‌یابند. هدف از این تحقیقات رسیدن به بهترین نتیجه برای انتخاب و اصلاح شتاب نگاشت است که در عین آن که با طیف هدف مطابقت کنند، بیش از حد محافظه‌کارانه و غیرمعقول نباشند. در این مقاله به شرح روش‌های انتخاب و اصلاح شتاب نگاشت‌ها می‌پردازیم.

نویسنده: محسن محقق‌نیا

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی زلزله، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس



مقدمه

تحلیل‌های تاریخیچه زمانی یکی از روش‌های تحلیل‌های موجود در آئین‌نامه‌های کشورهای است و از مزیت‌هایی که این روش نسبت به روش‌هایی مانند روش تحلیل استاتیکی معادل و تحلیل دینامیکی طیفی دارد این است که به دلیل اعمال رکورد از یک زلزله (طبیعی یا شبیه سازی شده)، نیروهای به دست آمده اعضا، نیروهای واقعی ایجاد شده هنگام زلزله است. هم چنین علائم (ممان‌های خمشی مثبت-منفی، نیروهای مهاربندی کشش-فشاری) حفظ می‌شوند، در حالی که آن‌ها در تشکیل ترکیب جذر مجموع مربعات^۱ و ترکیب کامل درجه دوم^۲ در تحلیل طیفی مدال^۳ از بین می‌روند.

به ویژه روش تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی که به عنوان کامل‌ترین روش برای تحلیل سازه‌ها بر شمرده می‌شود و در آن با توجه به در نظر گرفتن رفتار غیرخطی و واقعی مصالح، بهترین انطباق با رخداد واقعی انتظار می‌رود. این مزیت ذکر شده برای تحلیل‌های تاریخیچه زمانی خود حساسیت بالایی را در انتخاب و اصلاح شتاب نگاشت‌های اعمال شده می‌طلبد.

۱- انتخاب شتاب نگاشت

۱-۱ رویکرد سنتی یا انتخاب بر اساس M، R، F و S
 در این روش با انتخاب مقادیر پیش فرض و مطلوب برای بزرگا (M)، فاصله تا گسل (R)، نوع گسل (F)، نوع خاک محل (S) و شتاب طیفی در دوره تناوب اصلی سازه ((Sa(T_i)) زلزله‌هایی که مشخصات آن‌ها نزدیک به مقادیر مورد نظر است، انتخاب می‌شوند. با توجه به محدود بودن مولفه‌های مورد استفاده، می‌توان پیش بینی نمود که استفاده از این روش به تعداد زیادی رکورد نیاز داشته باشد. مزیت بزرگ این روش سادگی زیاد و سرعت استفاده از آن بدون نیاز به انجام محاسبات پیچیده است. [۱]

این رویکرد در همه‌ی آیین‌نامه‌ها مورد معرفی قرار گرفته است. [۴و۲]

۲-۱ رویکرد دو مرحله‌ای

در این روش، ابتدا بر مبنای همان رویکرد سنتی، شتاب نگاشت‌هایی را انتخاب می‌کنیم اما در مرحله دوم بر اساس نزدیک‌ترین شباهت بین طیف پاسخ شتاب نگاشت و طیف هدف مورد نظر (که می‌تواند طیف خطر یکنواخت^۴، طیف میانگین شرطی^۵ یا هر طیف دیگری باشد)، تنها این شتاب نگاشت‌ها انتخاب می‌شوند. [۱]

۳-۱ رویکرد انتخاب بر اساس مولفه پواسون (ε)

مولفه ε یک مشخصه شکلی از طیف میانگین شرطی است که از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$\varepsilon(T) = \frac{\ln S_a(T) - \mu \ln S_a(M, R, T)}{\sigma \ln S_a(M, R, T)} \quad (1)$$

که در آن $\ln S_a(T)$ لگاریتم شتاب طیفی، $\mu_{\ln S_a}(M, R, T)$ میانگین شتاب‌های طیفی رکورد مورد نظر بر اساس بزرگا، فاصله و دوره تناوب مشخص و $\sigma_{\ln S_a}(M, R, T)$ انحراف استاندارد رکورد مورد نظر است که با استفاده از شتاب زمین محاسبه می‌شود.

به این ترتیب $\varepsilon(T)$ نشان‌دهنده میزان اختلاف طیف پاسخ زلزله مورد نظر و طیف میانگین شرطی در زمان تناوب T است. اگر مقدار ε در زمان تناوب اصلی سازه (T_i) محاسبه شود، به عنوان عدد انحراف استاندارد لگاریتمی شناخته خواهد شد. در این روش زلزله‌هایی مناسب‌تر قلمداد می‌شوند که $\varepsilon(T_i)$ آن‌ها به صفر نزدیک‌تر باشد. محاسبات این روش شامل تعیین طیف میانگین شرطی و مولفه ε در زمان تناوب‌های مورد نظر است. [۱]

۴-۱ رویکرد انتخاب به روش میانگین انحراف طیفی

این روش شامل سه مرحله عمده است؛ در مرحله اول، طیف طرح محل با در دست داشتن اطلاعات مناسب، مشخص می‌شود. مرحله دوم مربوط به جستجوی رکوردهاست که در آن، انتخاب رکوردها با در نظر گرفتن اطلاعاتی مشابه با مرحله اول صورت می‌گیرد. در مرحله سوم، با توجه به تعیین طیف طرح و انتخاب اولیه رکوردها در دو مرحله قبل، سنجش تطبیق طیفی بین رکوردها و

طیف هدف با توجه به رابطه ۲ انجام می‌شود:

$$\delta_i = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{S_{aj}(T_i) - S_{aREF}(T_i)}{S_{aREF}(T_i)} \right)^2} \quad (2)$$

در رابطه فوق، $S_{aj}(T_i)$ نشان‌دهنده دامنه شتاب طیفی زلزله j-ام در دوره تناوب i-ام، $S_{aREF}(T_i)$ مقدار طیف آیین نامه‌ای در دوره تناوب مشابه و N تعداد نقاط دوره تناوبی مورد نظر است. مولفه δ برای هر رکورد نشان‌دهنده فاصله میانگین طیف پاسخ رکورد مورد نظر از طیف آیین نامه است. به این ترتیب هر چه میزان این انحراف محاسبه شده کمتر باشد، رکورد مورد بررسی با طیف هدف تطابق بیشتری را خواهد داشت. [۱]

۵-۱ رویکرد انتخاب به روش سازگاری طیفی

در این روش، مقدار متوسط جذر مجموع مربع‌های انحراف طیف پاسخ زلزله از طیف هدف (D_{rms}) با استفاده از مولفه‌های مشخص و بر اساس رابطه ۳ به دست می‌آید:

$$D_{rms} = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{S_{a0}(T_i)}{PGA_0} - \frac{S_{as}(T_j)}{PGA_s} \right)^2} \quad (3)$$

در رابطه فوق N تعداد نقاط دوره تناوب، $S_{a0}(T_i)$ شتاب طیفی رکورد در دوره تناوب T_i و $S_{as}(T_j)$ شتاب طیفی هدف در همان دوره تناوب است. PGA_0 و PGA_s نیز به ترتیب بیشینه شتاب حرکت زمین در رکورد مورد نظر و میزان شتاب طیفی در دوره تناوب صفر از طیف هدف است.

مقادیر کوچک D_{rms} نشان‌دهنده تطابق بیشتر بین طیف پاسخ زلزله مورد نظر و طیف هدف است. [۱]

۲- اصلاح شتاب نگاشت

بعد از آن که شتاب نگاشت‌ها برای تحلیل تاریخیچه زمانی انتخاب شدند باید به سراغ اصلاح آن‌ها برویم تا در طول دوره تناوب مورد نظر با طیف هدف مورد نظر ما مطابقت داشته باشند. این اصلاح شتاب نگاشت به دو صورت مقیاس دامنه و تطبیق طیفی انجام می‌گیرد. در رویکرد اول، یک شتاب نگاشت که در ابتدا انتخاب می‌شود، شکل طیف پاسخ آن با طیف هدف سازگار است، برای رسیدن به شدت مورد نظر، مقیاس می‌شود (معمولاً به سمت بالای طیف هدف). بنابراین، رکورد مقیاس شده برابر است با $a(t) = SF \times a_0(t)$ که در آن SF ضریب مقیاس و $a_0(t)$ رکورد

اصلی است. در رویکرد دوم، یک رکورد شتاب نگاشت طوری اصلاح می‌شود که طیف پاسخ آن بسیار نزدیک با طیف هدف مطابقت داشته باشد. [۵]

۱-۲ مقیاس دامنه^۱

مقیاس دامنه، روش اصلاح شتاب نگاشت است که در آن یک ضریب مقیاس یکنواخت برای شتاب نگاشت اعمال می‌شود، به طوری که تغییر انرژی زلزله با دوره تناوب سازه‌ای موجود در رکورد اصلی حفظ می‌شود. مقیاس دامنه همچنین تنوع رکورد به رکورد را حفظ می‌کند. با این حال، تک تک شتاب نگاشت‌ها که در مقیاس دامنه هستند می‌توانند به طور قابل توجهی از ورودی پاسخ طیف هدف در برخی دوره تناوب‌ها تجاوز کنند، که می‌تواند اهمیت پاسخ مود بالاتر را در برخی سازه‌ها بیش از حد نشان دهد.

هنگامی می‌خواهیم شتاب نگاشت‌هایی را انتخاب کنیم که طیف‌های پاسخ آن‌ها از نظر دامنه و شکل شبیه به طیف هدف باشد، تعداد شتاب نگاشت‌های ثبت شده که هر دو الزام را به طور همزمان برآورده می‌کند، اغلب کافی نیست. به عنوان مثال، اکثریت زیادی از شتاب نگاشت‌های ثبت شده ضعیف‌تر از شدت نشان داده شده توسط طیف خطر یکنواخت یا طیف میانگین شرطی هستند. علاوه بر این، طیف پاسخ برای بسیاری از رکوردها با شدت مورد نظر $A(T^*)$ ممکن است از نظر شکل شبیه به طیف میانگین شرطی نباشد.

مقیاس دامنه را می‌توان جز روش اولیه و قدیمی اصلاح شتاب نگاشت‌ها دانست که از ابتدا برای اصلاح شتاب نگاشت استفاده شده است. هم چنین این روش بر خلاف روش تطبیق طیفی، روشی ساده محسوب شده و به تجربه یا تخصص خاصی نیاز ندارد. [۵]

سه روش برای مقیاس شتاب نگاشت‌ها در ادامه توضیح داده شده است.

۱-۱-۲ ضریب مقیاس در دوره تناوب شرطی

ساده‌ترین روش این است که هر شتاب نگاشت را به گونه‌ای مقیاس کنیم که شتاب رکورد اصلی در دوره تناوب شرطی با شتاب طیف میانگین شرطی در همان دوره تناوب شرطی مطابقت داشته باشد. بنابراین داریم:

$$SF_{T^*} = \frac{Acms(T^*)}{A(T^*)} \quad (4)$$

1 Amplitude Scaling

1 Square Root of the Sum of the Squares (SRSS)

2 Complete Quadratic Combination (CQC)

3 Modal Response Spectrum

4 Uniform Hazard Spectrum (UHS)

5 Conditional Mean Spectrum (CMS)

که در آن $A_{CMS}(T^*)$ شتاب طیف میانگین شرطی در دوره تناوب شرطی، $A(T^*)$ شتاب رکورد اصلی در دوره تناوب شرطی است. [۵]

۲-۱-۲ ضریب مقیاس میانگین

یک روش دیگر این است که هر شتاب نگاشت را به گونه‌ای مقیاس کنیم که میانگین دامنه طیفی در محدوده دوره تناوب‌های مورد نظر برابر با میانگین دامنه طیف میانگین شرطی در محدوده دوره تناوب مشابه باشد. بنابراین داریم:

$$SF_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} A_{CMS}(T_i)}{\sum_{i=1}^{n_p} A(T_i)} \quad (۵)$$

که در آن n_p تعداد نقاط دوره تناوب، $A_{CMS}(T_i)$ شتاب طیف میانگین شرطی در دوره تناوب مورد نظر، $A(T_i)$ شتاب رکورد اصلی در همان دوره تناوب است. [۵]

۳-۱-۲ ضریب مقیاس بهینه

روش سوم مقیاس به طوری است که ضریب مقیاس انتخاب شده اختلاف بین طیف پاسخ شتاب نگاشت مقیاس

شده و طیف میانگین شرطی را در محدوده دوره تناوب به حداقل برساند. این تفاوت به صورت کمی به عنوان مجموع اختلاف مجذور بین دو طیف توصیف می‌شود.

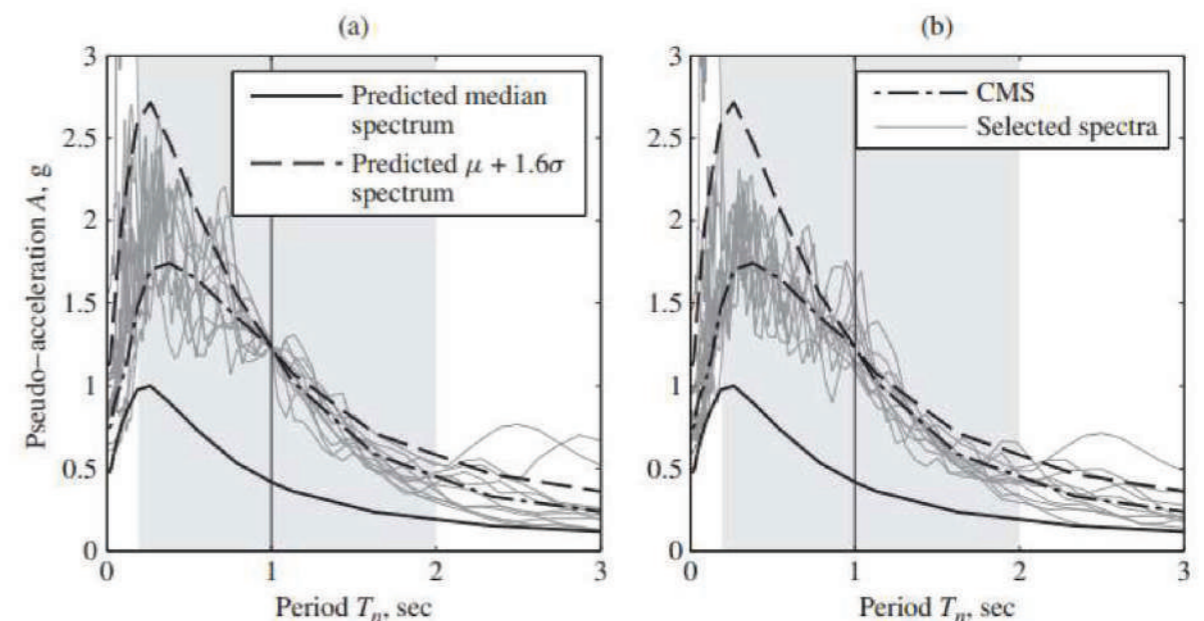
$$SSD = \sum_{i=1}^{n_p} \{\ln[A(T_i)] - \ln[A_{CMS}(T_i)]\}^2 \quad (۶)$$

که در آن n_p تعداد نقاط دوره تناوب، A_{CMS} و $A(T_i)$ به ترتیب شتاب‌های طیفی در دوره تناوب T_i از شتاب نگاشت مقیاس شده و طیف میانگین شرطی هستند. این ضریب مقیاس بهینه به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$SF_{opt} = \left[\prod_{i=1}^{n_p} \frac{A_{CMS}(T_i)}{A(T_i)} \right]^{1/n_p} \quad (۷)$$

که در آن n_p تعداد نقاط دوره تناوب، A_{CMS} و $A(T_i)$ به ترتیب شتاب‌های طیفی در دوره تناوب T_i از شتاب نگاشت مقیاس شده و طیف میانگین شرطی و \prod نماد ضرب است.

طیف پاسخ هر شتاب نگاشت مقیاس شده و طیف میانگین شرطی از رابطه ۶ محاسبه شده و شتاب نگاشت‌هایی با کمترین مقادیر SSD انتخاب می‌شوند. [۵]



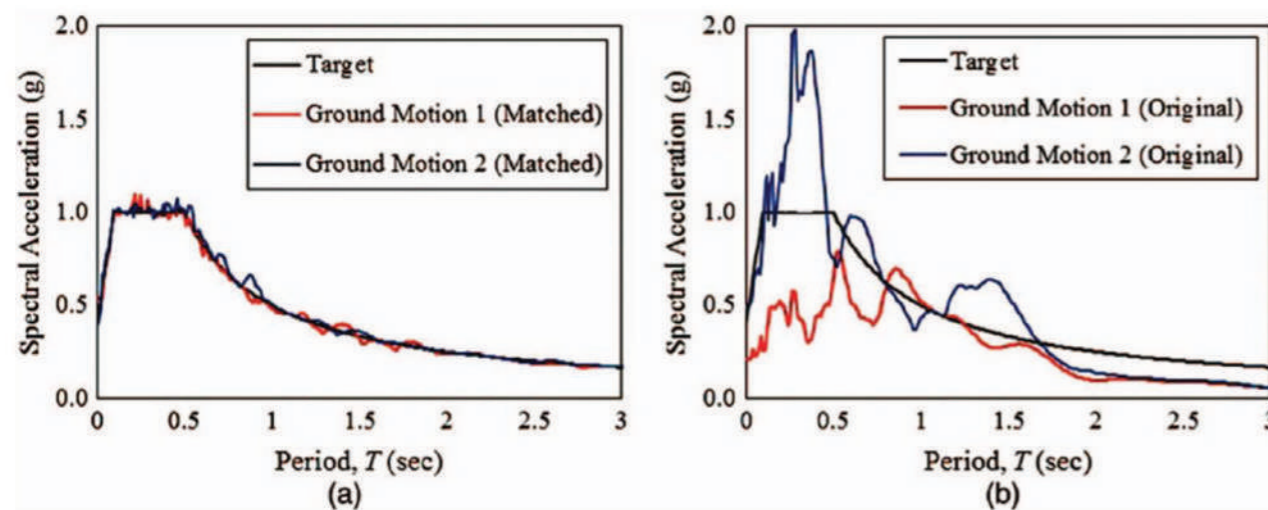
شکل ۱- طیف پاسخ برای ۲۰ شتاب نگاشت انتخاب شده مقیاس شده برای شباهت با طیف میانگین شرطی با استفاده از دو ضریب SF_{opt} (a) و SF_{avg} (b)؛ محدوده دوره تناوب برای انتخاب شتاب نگاشت $0.2T^*$ تا $2T^*$ است که با رنگ خاکستری مشخص گردیده است. [۵]

۲-۲ تطبیق طیفی^۱

تطبیق طیف پاسخ (که تطابق طیفی نیز نامیده می‌شود) مقیاس غیریکنواخت یک شتاب نگاشت واقعی یا مصنوعی است به طوری که طیف پاسخ شبه شتاب آن با طیف هدف مطابقت دارد. مزیت اصلی تطابق طیفی این است که از تعداد شتاب نگاشت کمتر، در مقایسه با مقیاس دامنه، می‌توان برای رسیدن به تخمین قابل قبولی از پاسخ متوسط دست یافت. تطابق طیفی به طور کلی تغییرپذیری پاسخ رکورد به رکورد مشاهده شده هنگام ارزیابی سازه برای حرکات اصلاح نشده را حفظ نمی‌کند، اما می‌تواند پاسخ متوسط را به خوبی دریافت کند، به خصوص اگر پاسخ غیرخطی متوسط باشد. تطبیق طیفی را می‌توان در حوزه فرکانس یا حوزه زمان

پایه‌سازی کرد. در رویکرد اول، طیف دامنه فوریه شتاب نگاشت اولیه به طور مکرر اصلاح می‌شود (در حالی که طیف فاز فوریه را ثابت نگه می‌دارد) تا زمانی که طیف پاسخ شتاب نگاشت اصلاح شده با طیف هدف مطابقت داشته باشد. در روش دوم، موجک‌ها^۲ به طور مکرر به شتاب نگاشت اولیه در حوزه زمان اضافه می‌شوند تا زمانی که طیف پاسخ آن با طیف هدف منطبق شود. پایه‌سازی رویکرد حوزه زمانی توسط RspMatch، یک نرم‌افزار منبع باز^۳ است تسهیل می‌شود.

رویکرد حوزه فرکانس به دو دلیل توجه نمی‌شود: شتاب نگاشت اصلاح شده اغلب شبیه شتاب نگاشت‌های ثبت شده از زلزله نیست، و فرآیند تکراری ممکن است همگرا نباشد.



شکل ۲- نمونه‌ای از تطبیق طیفی [۴ و ۳]

است، برطرف کرد. دوم، توابع شتاب-زمان سازگار با طیف طیف پاسخ صافی دارند، در حالی که شتاب نگاشت‌های ثبت شده، طیف پاسخ ناهموار را نمایش می‌دهند. این نابرابری در شکل ۳ نشان داده شده است که در آن طیف پاسخ برای رکورد شتاب نگاشت اولیه و برانگیختگی تطبیق با طیف مقایسه شده است. اگرچه این نابرابری یا ناهمواری ممکن است زمانی که طیف در مقیاس لگاریتمی ترسیم می‌شود زیاد به نظر نرسد، اما تفاوت واقعی در مقیاس خطی آشکار می‌شود (قسمت b شکل ۳).

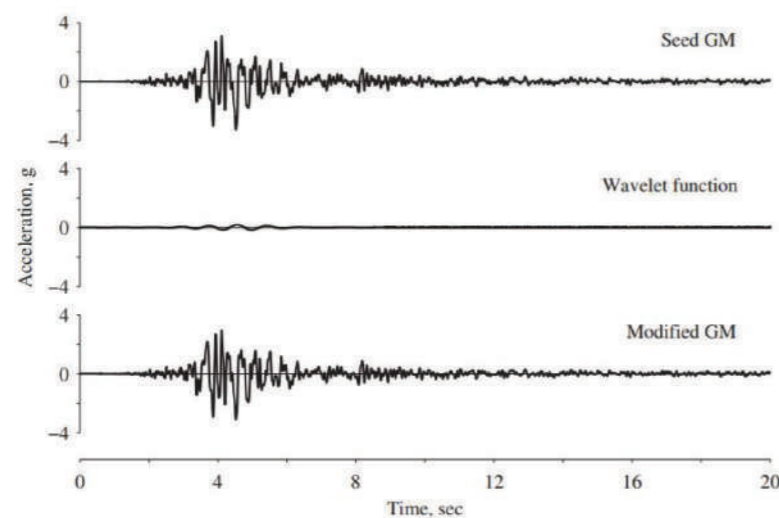
در شکل ۲ واضح است که دو رکورد با مقیاس دامنه پاسخ‌های متفاوتی را به همراه خواهند داشت، در حالی که تجزیه و تحلیل با استفاده از رکوردهای منطبق با طیف مشابه خواهد بود.

استفاده از توابع شتاب-زمان که با یک طیف طراحی سازگار هستند به دو دلیل بحث برانگیز است. اولاً، تابعی که با کل طیف طراحی مطابقت دارد، مانند طیف خطر یکنواخت، معرف یک رویداد زلزله واحد نخواهد بود. این مشکل را می‌توان با تعریف طیف میانگین شرطی به عنوان طیف هدف، که نماینده شتاب نگاشت‌های ثبت شده

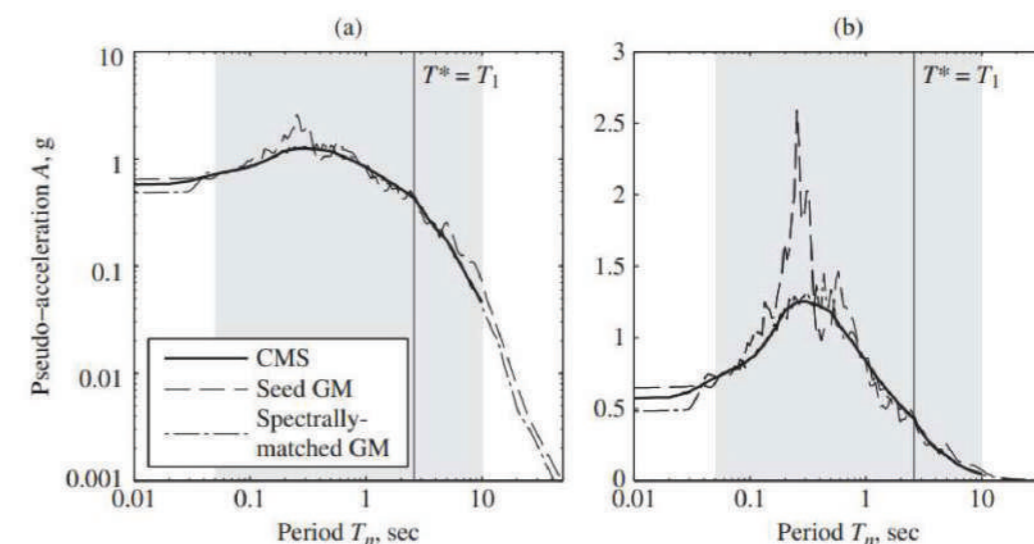
1 Spectral Matching

2 Wavelet

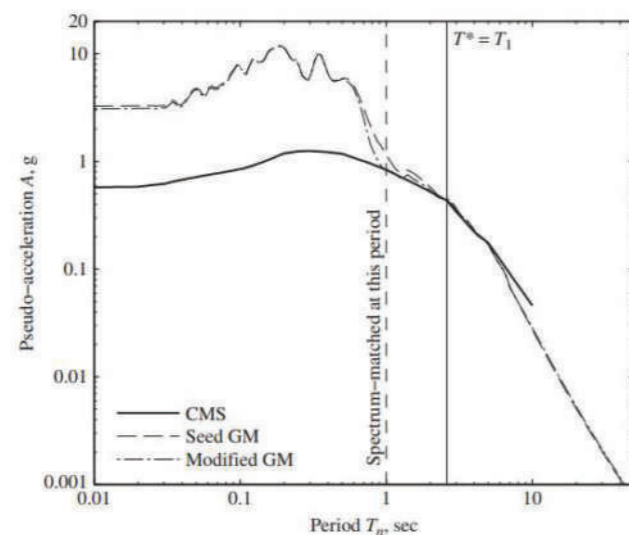
3 Open Source



شکل ۵ - (a) شتاب نگاشت 337° Gilroy, Gavilan College, 1989, Loma Prieta earthquake که مولفه با ضریب ۱۰ مقیاس شده است. (b) تابع موجک (c) شتاب نگاشت اصلاح شده [۵]



شکل ۳- طیف میانگین شرطی: طیف پاسخ برای شتاب نگاشت اولیه و شتاب نگاشت تطبیق طیفی شده، محدوده دوره تناوب استفاده شده برای تطبیق طیف با رنگ خاکستری نشان داده شده است. (a) مقیاس لگاریتمی. (b) مقیاس خطی [۵]



شکل ۶- طیف میانگین شرطی: طیف پاسخ برای شتاب نگاشت اولیه و شتاب نگاشت اصلاح شده که در $T_n=1s$ تطبیق طیفی شده است. [۵]

از آنجایی که چندین تصمیم در اجرای روش تطبیق طیفی مبتنی بر تجربه و قضاوت است، این روش بی‌خطا نیست. بنابراین، شتاب نگاشت تطبیق طیفی باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد. اهمیت بررسی بصری در شکل ۷ نشان داده شده است، جایی که توابع شتاب، سرعت و جابجایی برای شتاب نگاشت اولیه و شتاب نگاشت تطبیق طیفی مقایسه شده است. توجه داشته باشید که تفاوت در توابع شتاب زیاد است، که نشان می‌دهد شتاب نگاشت اولیه باید تا حد زیادی تنظیم شده باشد. قابل قبول بودن آن بستگی به دیدگاه کاربر دارد. برخی استدلال می‌کنند که اصلاح شدید یک شتاب نگاشت ثبت شده به دلایل زمین‌شناسی و لرزه‌شناسی غیرقابل قبول است. از سوی دیگر، برخی استدلال می‌کنند که تا زمانی که توابع شتاب، سرعت و جابجایی شتاب نگاشت تطبیق طیفی با آن‌هایی که می‌توان در یک شتاب نگاشت واقعی مشاهده کرد، مطابقت داشته باشد، هر درجه از اصلاح قابل قبول است. این نیاز توسط شتاب نگاشت در قسمت چپ شکل برآورده می‌شود اما توسط سمت راست برآورده نمی‌شود. در مورد دوم، تابع جابجایی با گذشت زمان از موقعیت صفر دور می‌شود و منجر به جابجایی دائمی زمین می‌شود که در شتاب نگاشت اولیه وجود نداشت. بنابراین، این مثال از تطابق طیفی ناموفق ارزیابی می‌شود.

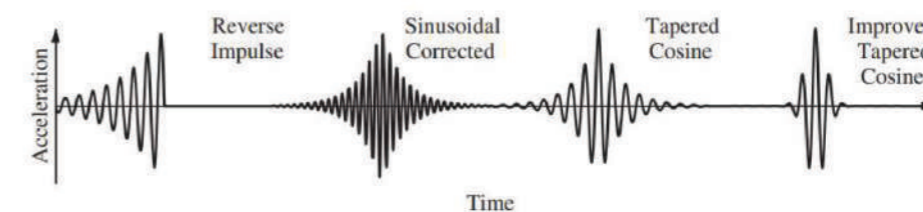
از آنجایی که چندین تصمیم در اجرای روش تطبیق طیفی مبتنی بر تجربه و قضاوت است، این روش بی‌خطا نیست. بنابراین، شتاب نگاشت تطبیق طیفی باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد. اهمیت بررسی بصری در شکل ۷ نشان داده شده است، جایی که توابع شتاب، سرعت و جابجایی برای شتاب نگاشت اولیه و شتاب نگاشت تطبیق طیفی مقایسه شده است. توجه داشته باشید که تفاوت در توابع شتاب زیاد است، که نشان می‌دهد شتاب نگاشت اولیه باید تا حد زیادی تنظیم شده باشد. قابل قبول بودن آن بستگی به دیدگاه کاربر دارد. برخی استدلال می‌کنند که اصلاح شدید یک شتاب نگاشت ثبت شده به دلایل زمین‌شناسی

پیشنهاد کرده‌اند. نمونه‌هایی از توابع موجک در شکل ۴ نشان داده شده است. روش رایج در حال حاضر، که در RspMatch2009 (و پیشینیان آن، و RspMatch2005 بر این فرض اساسی استوار است که پاسخ سیستم تک درجه آزادی به موجک به حداکثر مقدار خود (حداکثر مطلق) همزمان با پاسخ آن به شتاب نگاشت اولیه می‌رسد. از آنجا که این فرض همیشه معتبر نیست، تکرار ضروری است و مشکلاتی در اجرای روش ایجاد می‌شود.

مفهوم اساسی در تطابق طیفی در حوزه زمان این است که شتاب نگاشت اولیه را که با شتاب آن، $a(t)$ تعریف می‌شود، با افزودن یک تابع تنظیم، $\delta a(t)$ ، که به عنوان ترکیبی خطی از توابع موجک تعریف می‌شود، اصلاح کنیم:

$$\delta a(t) = \sum_{j=1}^N b_j w_j(t) \quad (8)$$

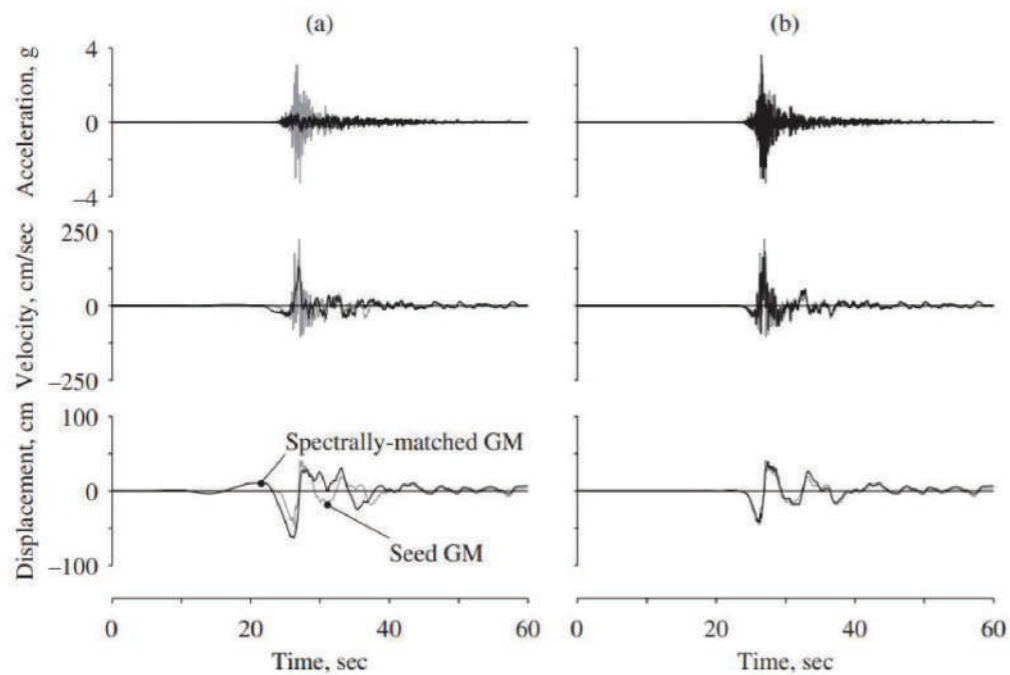
در رابطه بالا b_j دامنه‌های مجهول موجک‌های $w_j(t)$ و N تعداد کل مقادیر دوره تناوبی است که طیف هدف باید مطابقت داده شود. محققان توابع موجک مختلفی را



شکل ۴- نمونه‌هایی از توابع موجک [۵]

تابع تنظیمی که طیف پاسخ را با مقدار هدف در دوره تناوب ۱ ثانیه مطابقت می‌دهد، طیف را در دوره تناوب‌های دیگر نیز تغییر می‌دهد. بنابراین، لازم است که به‌طور همزمان در تمام مقادیر N دوره تناوب مطابقت داده شود. با این حال، محققان کشف کرده‌اند که اگر این تنظیم به صورت مرحله‌ای و به تدریج در باندهای دوره تناوب وسیع‌تر اعمال شود، شتاب نگاشت اولیه بیشتر ویژگی اصلی خود را حفظ می‌کند

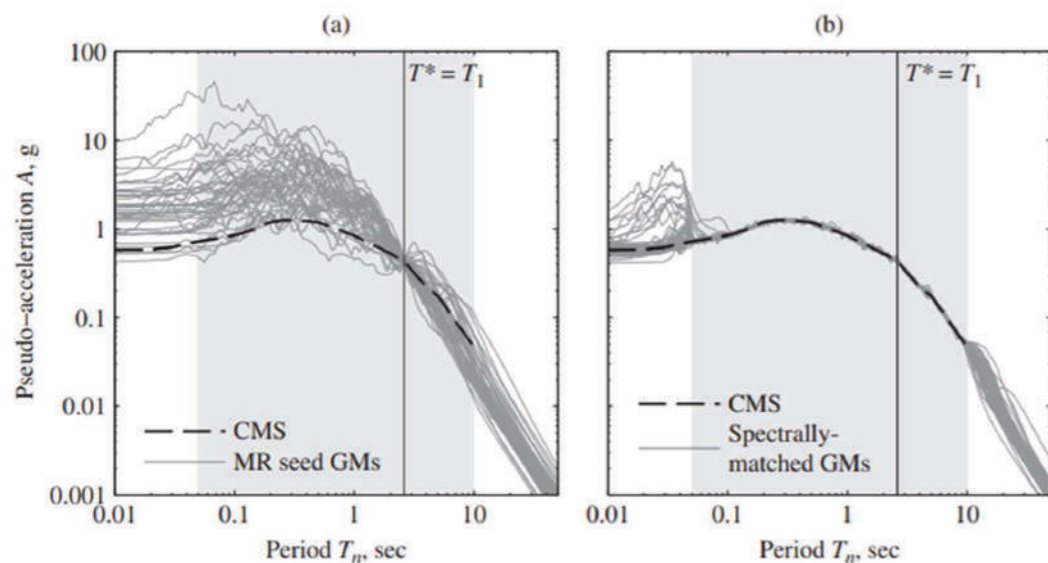
یک مثال از روش تطبیق طیفی یک شتاب نگاشت اولیه با طیف هدف در یک مقدار دوره تناوب در شکل ۵ نشان داده شده است. شتاب نگاشت اولیه، تابع تنظیم، و شتاب نگاشت اصلاح شده به ترتیب در قسمت‌های (الف)، (ب) و (ج) نشان داده شده است. فقط یک موجک برای تطبیق با یک مقدار طیفی لازم است، بنابراین رابطه ۸ فقط شامل یک ترم است. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود،



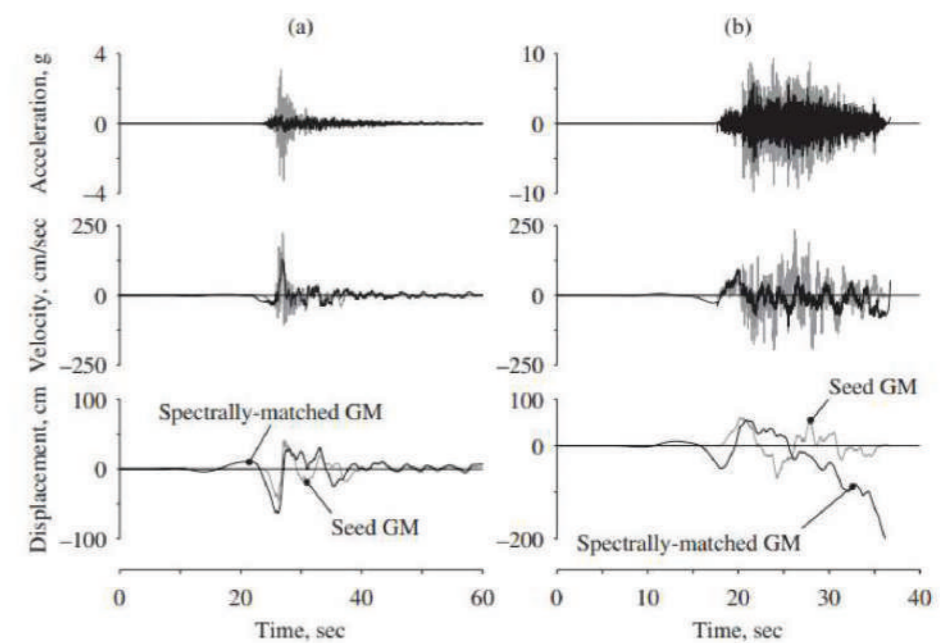
شکل ۹- شتاب، سرعت و جابجایی شتاب نگاشت اولیه و شتاب نگاشت اصلاح شده تطبیق طیفی به طیف میانگین شرطی در دو محدوده دوره تناوب: (a) ۰/۵ تا ۱۰ ثانیه و (b) $0.2T_1$ تا $2T_1$ [۵]

تطبیق طیفی اساساً پراکندگی و تغییرپذیری را حذف می‌کند، همان‌طور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، توسط طیف پاسخ شتاب نگاشت‌ها که در محدوده دوره تناوب ۰/۵ تا ۱۰ ثانیه مطابقت دارند. طیف پاسخ برای هر شتاب نگاشت تطبیق طیفی اساساً با طیف میانگین شرطی یکسان است که به عنوان طیف هدف انتخاب شد.

تطابق طیفی را می‌توان مستقیماً روی هر شتاب نگاشت پیاده‌سازی کرد، اما محققان به این نتیجه رسیده‌اند که قبل از اعمال تنظیمات موجک، ابتدا باید آن را در دامنه مقیاس کرد تا تطابق تقریبی با طیف هدف حاصل شود. سایر محققان ترجیح می‌دهند شتاب نگاشت‌های اولیه را با شکل طیفی مشابه طیف هدف انتخاب کنند، تا تغییرات لازم برای دستیابی به تطابق طیفی را به حداقل برسانند.



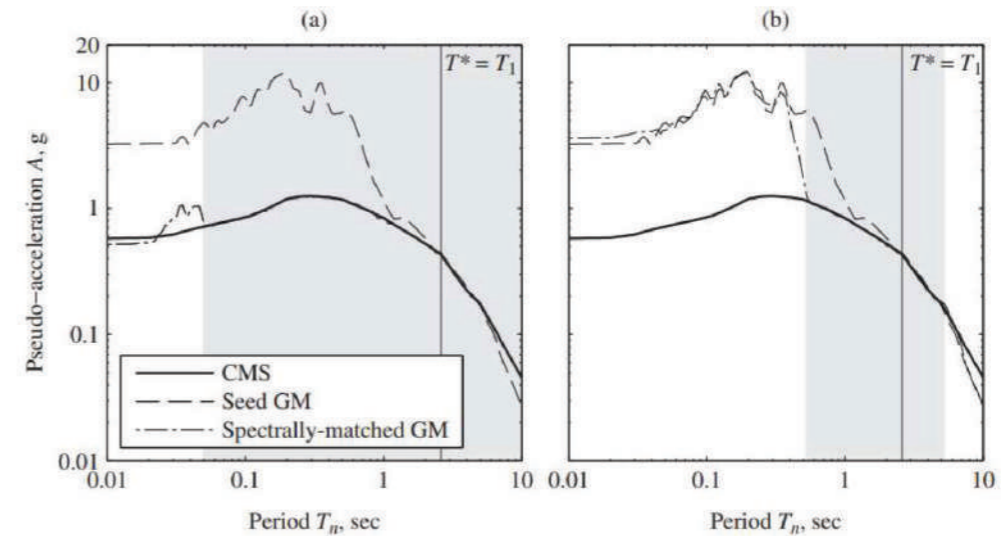
شکل ۱۰- طیف پاسخ برای (a) گروهی از شتاب نگاشت‌های اولیه (b) شتاب نگاشت‌های تطبیق طیفی. محدوده دوره تناوب از ۰/۵ تا ۱۰ ثانیه برای تطبیق با رنگ خاکستری نشان داده شده است. [۵]



شکل ۷- شتاب، سرعت و جابجایی شتاب نگاشت اولیه و شتاب نگاشت تطبیق طیفی. دو نمونه نشان داده شده است که: (a) موفق و (b) ناموفق [۵]

اصلاح می‌شود، اما در خارج از محدوده دوره تناوب، طیف پاسخ ممکن است هیچ شباهتی به طیف هدف نداشته باشد، همان‌طور که در قسمت سمت راست این شکل‌ها نشان داده شده است. انتظار می‌رود که اصلاح شتاب نگاشت‌های تطبیق طیفی در یک محدوده بازه زمانی وسیع منجر به بهبود برآوردهای تقاضای لرزه‌ای متوسط با حداقل پراکندگی شود. با این حال، دستیابی به همگرایی فرآیند تکراری در تطابق طیفی در یک بازه زمانی وسیع دشوار است.

یکی از تصمیماتی که باید گرفته شود محدوده دوره تناوب‌هایی است که طی آن شتاب نگاشت اولیه باید از نظر طیفی با طیف هدف تطبیق داده شود. شکل‌های ۸ و ۹ تأثیر این انتخاب را نشان می‌دهند. تطابق طیفی در یک بازه زمانی وسیع با اصلاح قابل توجهی از شتاب نگاشت اولیه حاصل می‌شود، همان‌طور که در قسمت سمت چپ این شکل‌ها نشان داده شده است. اگر محدوده دوره تناوب باریک باشد، شتاب نگاشت اولیه به میزان بسیار کمتری



شکل ۸- طیف پاسخ برای یک شتاب نگاشت اولیه و شتاب نگاشت اصلاح شده تطبیق طیفی به طیف میانگین شرطی در دو محدوده دوره تناوب: (a) ۰/۵ تا ۱۰ ثانیه و (b) $0.2T_1$ تا $2T_1$ [۵]

تطابق طیفی نباید برای مکان‌های نزدیک به گسل استفاده شود مگر آن که ویژگی‌های پالس حرکات زمین پس از تکمیل فرآیند تطبیق حفظ شود.

تطبیق طیفی روش ترجیحی نیست، به ویژه به این دلیل که بی‌خطا نیست. در دست یک کاربر بی‌تجربه، نتایج می‌تواند کمتر رضایت بخش باشد. [۵]

نتیجه‌گیری

در انتخاب شتاب نگاشت‌ها همان‌طور که مورد بررسی قرار گرفت، دیدیم که رویکردهای جدید انتخاب شتاب نگاشت علاوه بر در نظر گرفتن عوامل بزرگا، فاصله از گسل، نوع خاک و... نزدیک بودن طیف پاسخ شتاب نگاشت به طیف هدف را در نظر می‌گیرد تا ایجاد تغییرات و اصلاحات در شتاب نگاشت‌ها به حداقل برسد.

برای اصلاح شتاب نگاشت‌ها دو روش مقیاس دامنه و تطبیق طیفی ارائه شده است. مقیاس دامنه روش ساده اصلاح شتاب نگاشت است که با یک ضریب یکنواخت شتاب نگاشت اصلاح می‌شود. از مزایای این روش ذکر شد که تغییرپذیری، پراکندگی و تنوع رکورد به رکورد پاسخ حفظ می‌شود و ویژگی‌های شتاب نگاشت اصلی بیشتر حفظ می‌گردد. ایرادی که می‌توان به مقیاس دامنه گرفت این است که به دلیل اعمال یک ضریب یکنواخت، طیف شتاب نگاشت را در برخی دوره تناوب‌ها بیش از طیف هدف بالا می‌برد و این باعث می‌شود اهمیت مودهای بالاتر بیشتر در نظر گرفته شود. تطبیق طیفی روش پیچیده‌تری برای اصلاح شتاب نگاشت معرفی شد که با ضرایب غیریکنواخت شتاب نگاشت را اصلاح می‌کند تا منطبق بر طیف هدف گردد. استفاده از این روش نیاز به تجربه و مهارت دارد و برای به دست آوردن پاسخ متوسط استفاده می‌گردد که دقت خوبی هم دارد. تطبیق طیف تغییرپذیری و پراکندگی را خیلی کم کرده و طیف شتاب نگاشت را نزدیک به طیف هدف می‌کند که همین مسئله موجب می‌شود تا ویژگی‌های اصلی شتاب نگاشت حفظ نشود. از مزایای این روش استفاده از تعداد شتاب نگاشت کمتر برای تحلیل است.

منابع

۱. بهنام فر، ف.، م. نورائی، و م. طالبی ولئی، روش سه مرحله‌ای انتخاب شتاب نگاشت‌های زلزله برای تحلیل دینامیکی سازه‌ها. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، ۲۰۱۷. ۴۹(۱): p. ۱۲۷-۱۳۸.
۲. آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله-استاندارد ۲۸۰۰. ۱۳۹۳، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
3. ASCE/SEI 7-16: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. 2016: American Society of Civil Engineers.
4. ASCE/SEI 7-22: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. 2022: American Society of Civil Engineers.
5. Chopra, A.K., Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering. 2020: Pearson

سازه راه ماهی یا Fishway

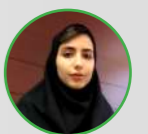
مقدمه

انسان همواره به منظور مدیریت منابع آب، حفاظت خود در برابر وقوع سیلاب، یا به منظور تسهیل در امر تردد، در مسیر و خصوصیات طبیعی رودخانه‌ها دخالت کرده و در ایجاد تغییر در آن نقش مؤثر داشته است. سدها و بندهای انحرافی بیشترین مشکل را در روند مهاجرت ماهی‌ها به وجود می‌آورند.

معمولاً مهاجرت به پایین‌دست در مراحل آغازین زندگی ماهی‌ها به دلایل مختلفی نظیر دستیابی به غذای مناسب، فرار از شکارچیان و یا ایمنی از مسائل نامساعد محیطی نظیر یخ زدگی دریاچه صورت می‌گیرد. درحالی‌که ماهی‌ها در فصول تخم‌ریزی، به‌طور غریزی در خلاف جهت جریان رودخانه شنا می‌کنند تا خود را به محل مناسب برسانند. این عمل در طی قرون متمادی انجام‌شده و عامل بقا و تولیدمثل آن‌ها است. ماهی‌ها در حرکت خود به بالادست اگر با مانعی روبرو شوند، سعی در عبور از آن مانع را دارند و از تصمیم خود منصرف نمی‌شوند، بنابراین اگر نتوانند از آن عبور کنند، تلف خواهند شد. با احداث سد، کل عرض رودخانه و در نتیجه راه عبور ماهی‌ها بسته می‌شود. این عمل باعث تلف شدن ماهی‌ها در پایین‌دست سد خواهد شد و تهدیدی برای انقراض گونه‌هایی از ماهی‌ها بشمار می‌رود [۱].

نویسنده: الهام شکوهی مهر

دانشجوی دکتری مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس





(ب)



(الف)

شکل ۲. الف) راه‌ماهی سد انحرافی رامشیر، ب) نمونه‌ای از راه‌ماهی سرریزی

اصولاً احداث یک سد، سه خطر عمده برای ماهی‌ها ایجاد می‌کند:

۱. مانع فیزیکی برای گذر ماهی‌های مهاجر؛
۲. کشته شدن ماهی‌ها به خاطر عبور از توربین‌ها؛
۳. آب جمع شده در پشت سدها، بستر قلوه‌سنگی مناسب برای تخم‌ریزی را نابود می‌کند.

وظیفه و اهمیت سازه راه‌ماهی

وظیفه مهم سازه راه‌ماهی ایجاد مسیر مطمئن به منظور عبور ماهی‌های مهاجر است. در صورتی‌که چنین سازه‌ای طراحی و اجرا نشود یا در عملکرد آن اختلال ایجاد شود، مهاجرت ماهی‌ها به بالادست غیرممکن خواهد بود و در نتیجه باعث عدم تخم‌ریزی، کاهش تولید مثل و در نهایت انقراض گونه‌ای از ماهی‌ها می‌شود. اهمیت این سازه به گونه‌ایست که سازمان جهانی محیط‌زیست اجرای این سازه و عملکرد صحیح آن را اجباری نموده است.

از طرفی با توجه به اینکه ایجاد سازه‌های آبی متعدد اساس توسعه‌ی جامعه بشری امروز است، کاستن و از بین بردن اثرات منفی زیست‌محیطی این سازه‌ها امری ضروری است. هرچند ساخت راه‌ماهی‌ها و سایر سازه‌های

مشابه نمی‌تواند به تنهایی تمام مشکلات زیست‌محیطی حوزه‌ی آبریزان را مرتفع نماید، اما بی‌شک تنها راهکار برای جابجایی و مهاجرت ماهی‌ها به بالادست موانع محسوب می‌شود. با توجه به اهمیت این سازه در حفظ بقاء گونه‌های مختلف ماهی‌ها، امروزه بهینه‌سازی راه‌ماهی‌ها مورد توجه کارشناسان قرار گرفته است [۲ و ۳].

انواع راه‌ماهی‌ها [۴]:

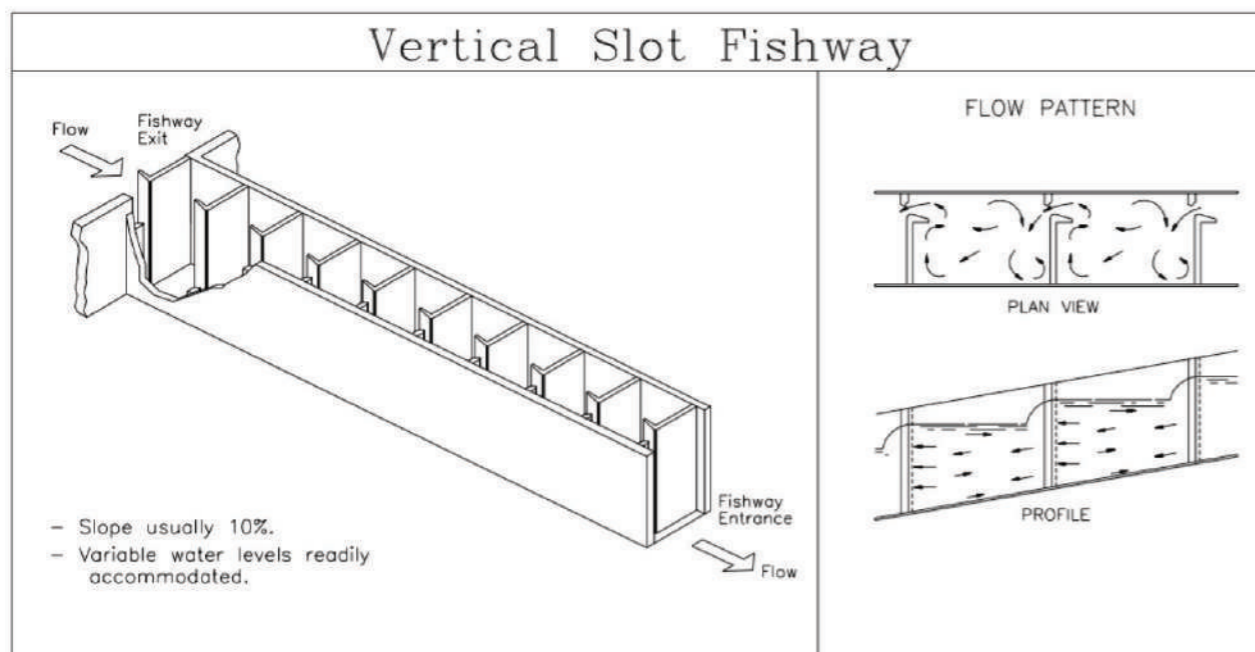
۱. راه‌ماهی سرریزی Weir Fishway

این نوع راه‌ماهی‌ها شکلی مانند استخرهای پلکانی درست می‌کنند و هر استخر نسبت به استخر پایین دست خود اندکی مرتفع‌تر است که با سرریزهای لبه تیز از هم جدا شده‌اند. هر کدام از این سرریزها دارای یک شکاف در قسمت بالایی هستند که برای عبور جریان در نظر گرفته شده است. همچنین در قسمت تحتانی سرریزها یک روزنه با ابعاد مناسب برای عبور ماهی در نظر گرفته شده است. با ایجاد جریان آبشاری روی سرریزها و جریان گردابی در حوضچه، انرژی مستهلک شده و سرعت کنترل می‌شود. ماهیان از حوضچه به حوضچه پریده یا از میان روزنه یا از روی سرریزها عبور می‌کنند. شیب این سازه در حدود ۱۰ درصد در نظر گرفته می‌شود [۵ و ۶].

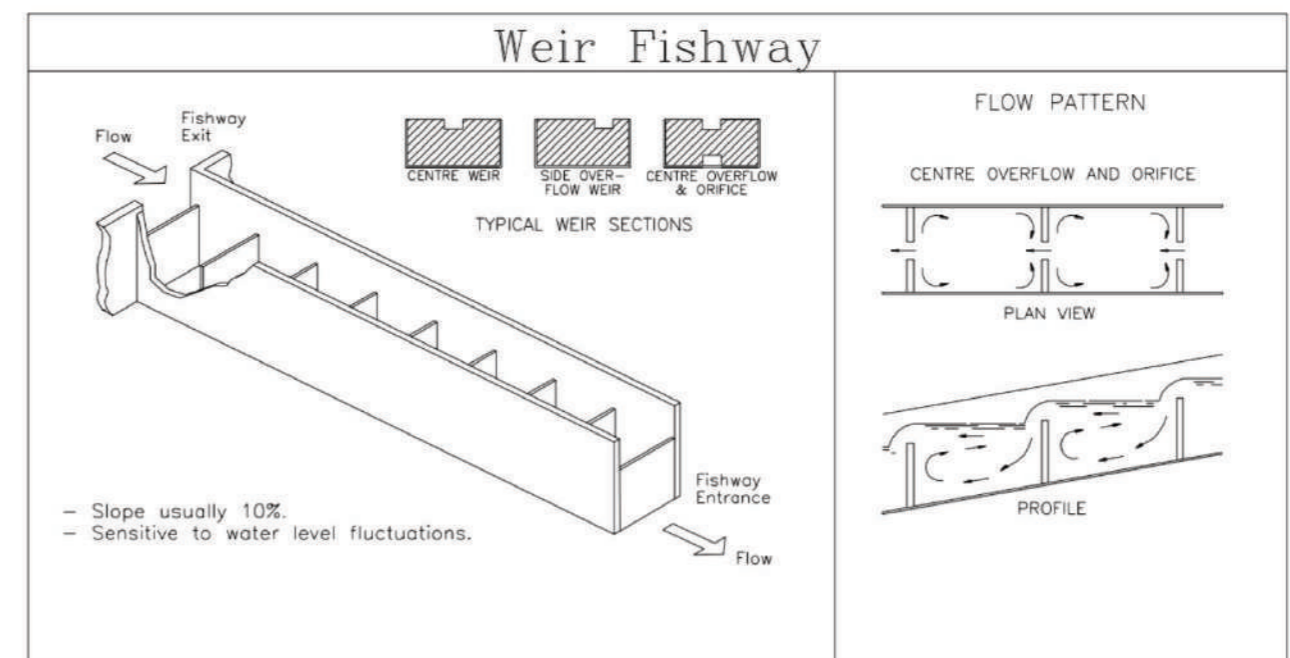
۲. راه‌ماهی شکاف‌دار قائم Vertical slot Fishway

در این نوع راه‌ماهی تیغه‌هایی در فواصل منظم در طول آبراهه نصب می‌شوند و در نتیجه استخرهایی در مسیر جریان پدید می‌آید. شیب این سازه در حدود ۱۰ درصد و سرعت آب در شیرها از بالا به پایین تقریباً ثابت است. مزیت اصلی این نوع راه‌ماهی فراهم آوردن امکان تغییرات بیشتری در تراز سطح آب در راه‌ماهی است. معمولاً اختلاف تراز

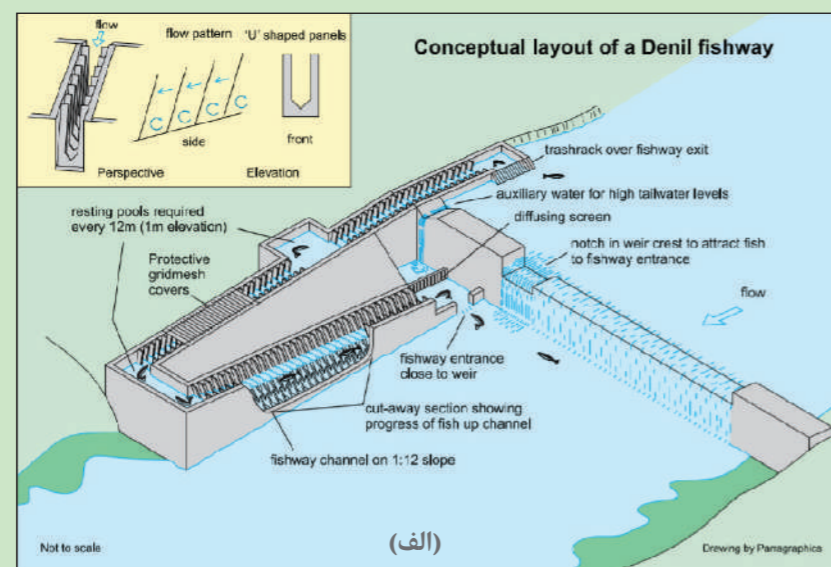
سطح آب در استخرهای متوالی در حدود ۳۰۰ میلی‌متر برای ماهی‌های آزاد و ۲۰۰ میلی‌متر برای ماهی‌های آب شیرین در نظر گرفته می‌شود. راه‌ماهی باز شدگی قائم تقریباً مشابه راه‌ماهی حوضچه و سرریز است با این تفاوت که برای عبور ماهی عمق بازشدگی برابر ارتفاع سرریز خواهد بود. بنابراین در این راه‌ماهی نیازی به پرش از روی سرریز نیست و ماهی در هر عمقی قادر به شنا و عبور از مجرا است [۶].



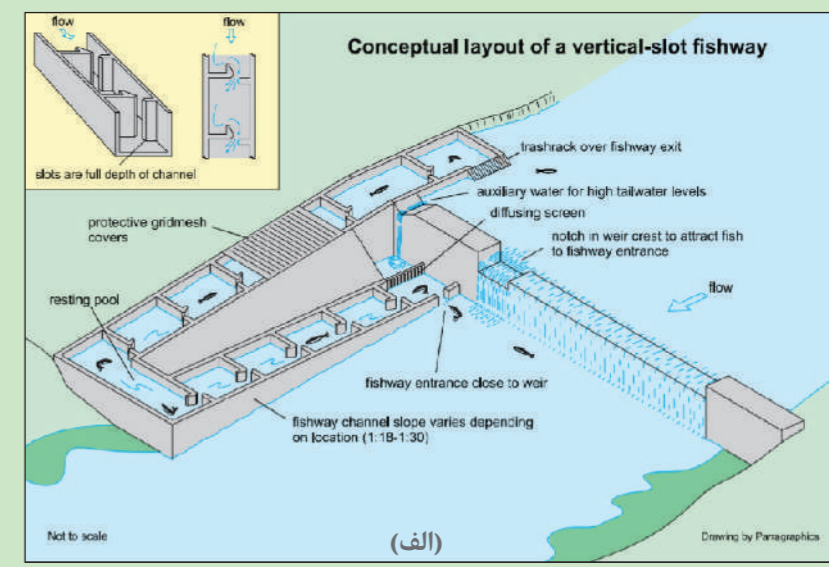
شکل ۳. شماتیک راه‌ماهی شکاف‌دار قائم [۵]



شکل ۱. شماتیک راه‌ماهی سرریزی [۵]



شکل ۶. الف) طرح مفهومی راه‌ماهی دنیل [۶]، ب) نمونه‌ای از راه‌ماهی دنیل



شکل ۴. الف) طرح مفهومی راه‌ماهی شکافدار قائم [۶]، ب) نمونه‌ای از راه‌ماهی شکافدار قائم

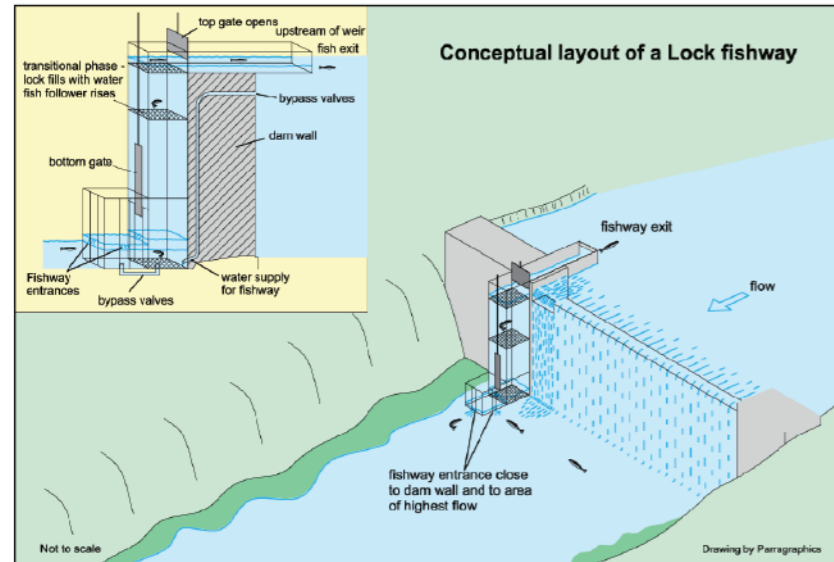
۳. راه‌ماهی دنیل Denil Fishway

سبب کاهش تجمع رسوب و همچنین بالابردن ظرفیت جذب ماهی (بدلیل گرایش ماهی‌ها به جریان‌های بزرگ‌تر) می‌شود. به‌دلیل شیب تند و جریان شدید آب در راه‌ماهی، باید استخرهایی برای استراحت ماهی‌ها در نظر گرفته شود. فاصله بین این استخرها برای ماهی‌های آزاد بالغ ۱۰ تا ۱۵ متر در طول راه‌ماهی و برای ماهی‌های آب شیرین بالغ ۵ تا ۱۰ متر است. همچنین شیب کف راه‌ماهی دنیل بین ۱۰ تا ۱۵ درصد برای ماهی‌های آب شیرین و بین ۱۵ تا ۲۵ درصد برای ماهی‌های آزاد پیشنهاد شده است [۶ و ۷].

این نوع راه‌ماهی که به نام مخترع آن نامگذاری شده است از یک تندآبراه مستطیلی که در کف و دیواره‌های آن از تیغه‌هایی با فواصل نزدیک به یکدیگر قرار دارند، تشکیل شده است. تیغه‌های این راه‌ماهی به صورت U شکل و مایل به سمت بالادست هستند. به علت مناسب بودن طراحی هیدرولیکی این سازه، امکان استفاده از شیب‌های تندتر و در نتیجه امکان ساخت راه‌ماهی‌های کوتاه‌تر و کم‌هزینه‌تر فراهم می‌شود. جریان شدید آب در طراحی این راه‌ماهی

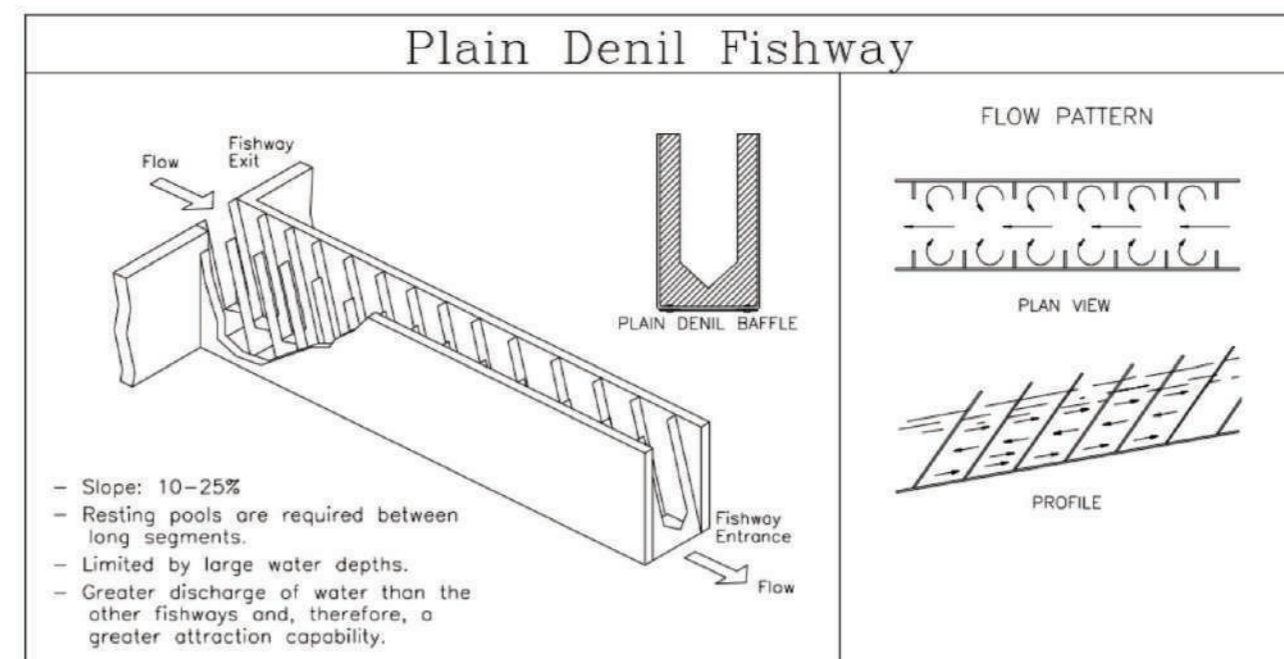
۴. راه‌ماهی محبوس Lock Fishway

در این نوع راه‌ماهی، ماهی‌ها به سمت مخزنی هدایت می‌شوند. پس از ورود ماهی‌ها، این مخزن بسته شده و از آب پر می‌شود. با افزایش تراز سطح آب ماهی‌ها قادرند به سمت بالادست حرکت کنند [۶].



شکل ۷. طرح مفهومی راه‌ماهی محبوس [۶]

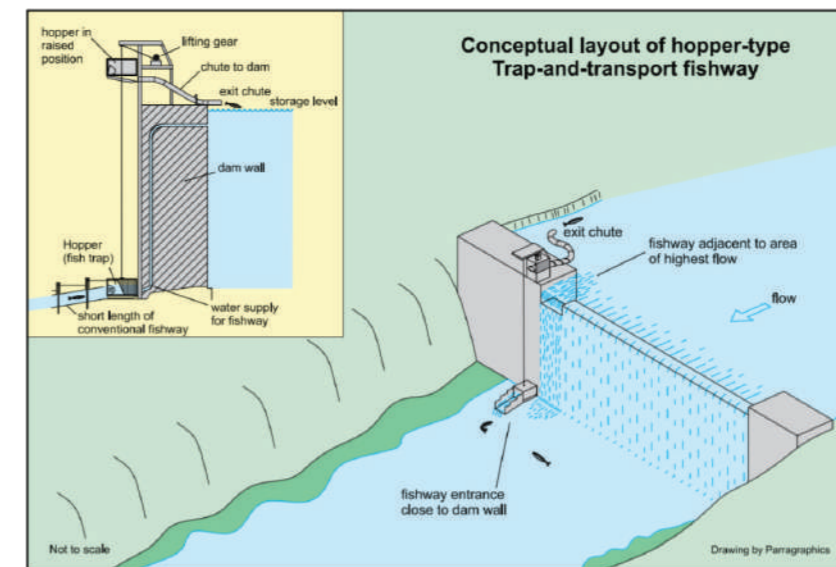
Plain Denil Fishway



شکل ۵. شماتیک راه‌ماهی دنیل [۵]

۵. راه‌ماهی حبس و انتقال Trap and Transport Fishway

این نوع راه‌ماهی شامل جذب و گیر انداختن ماهی‌ها در پایین‌دست موانعی همچون سدها و سپس انتقال فیزیکی به بالادست موانع است. عملیات انتقال ممکن است توسط تانکر، وسایل ریلی و یا هوایی انجام پذیرد. در صورتی که پس از محبوس نمودن ماهی‌ها، از یک بالابر برای انتقال ماهی‌ها به بالادست استفاده شود، به این سازه آسانسور ماهی نیز اطلاق می‌شود [۶].



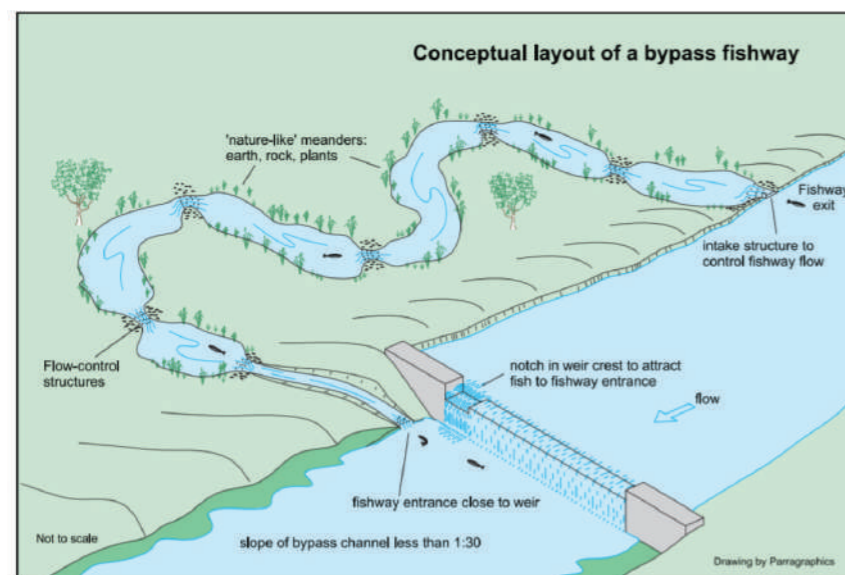
شکل ۸. طرح مفهومی راه‌ماهی حبس و انتقال [۶]



شکل ۱۰. نمونه‌ای از راه‌ماهی سنگ پله‌ای

۷. راه‌ماهی کنارگذر Bypass Fishway

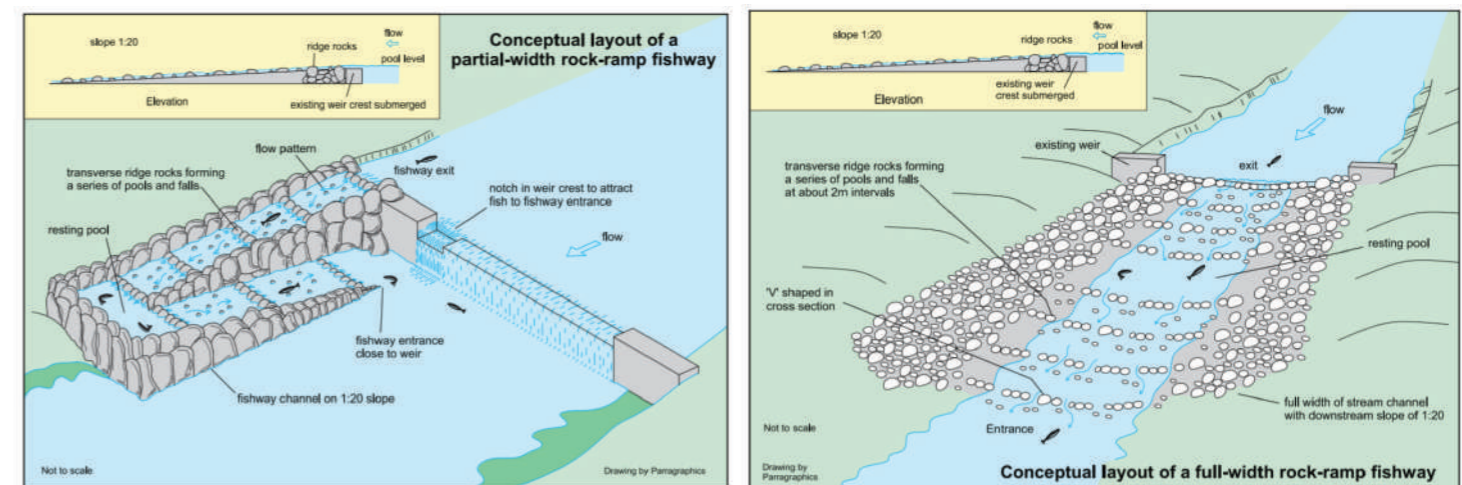
این راه‌ماهی‌ها کانال‌های سنگی یا خاکی با شیب کم هستند که در مجاورت موانع ساخته می‌شوند و مسیر مناسبی برای حرکت ماهی بین بالادست و پایین دست موانع فراهم می‌آورند. راه‌ماهی‌های کنارگذر ساختار جریان طبیعی را شبیه‌سازی می‌کنند و معمولاً با عنوان راه‌ماهی‌های طبیعی یا طبیعت دوست شناخته می‌شوند [۶].



شکل ۱۱. طرح مفهومی راه‌ماهی کنارگذر [۶]

۶. راه‌ماهی سنگ پله‌ای Rock-ramp Fishway

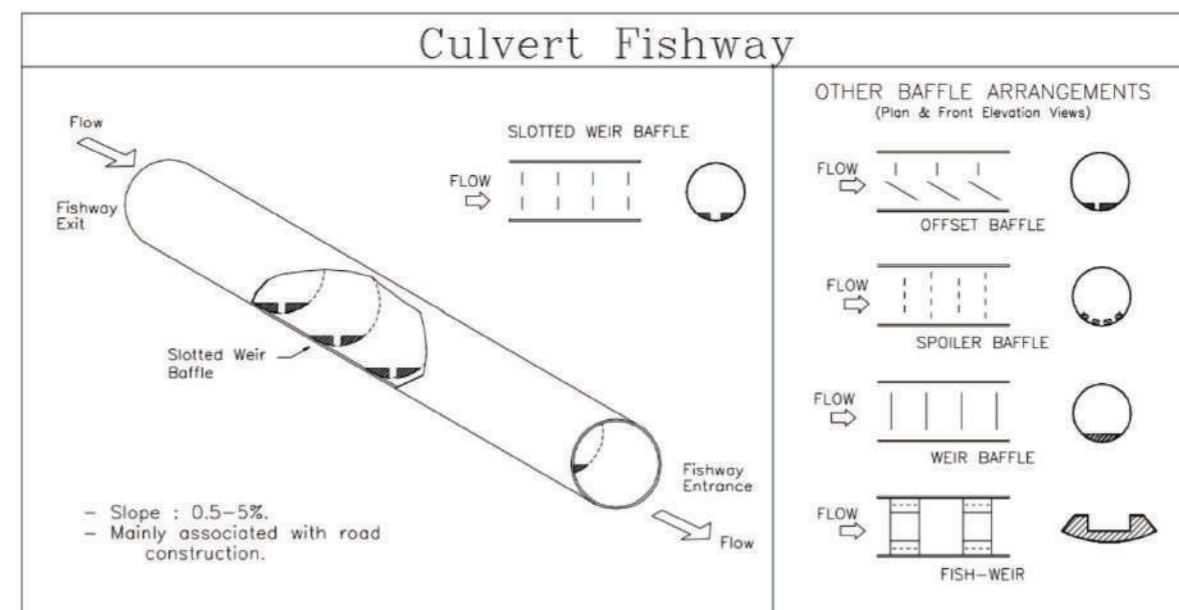
همان‌طور که از نام این سازه مشخص است، این نوع راه‌ماهی از پله‌های سنگی تشکیل شده است و به عنوان یک گزینه کم هزینه در کنار راه‌ماهی‌های معمول دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سازه مخصوص موانع کوتاه و در ترکیب با سیستم کنترل فرسایش مورد توجه است. شیب این راه‌ماهی در حدود ۵ درصد و فواصل پله‌های سنگی در حدود ۲ متر در نظر گرفته می‌شود [۶].



شکل ۹. طرح مفهومی راه‌ماهی سنگ پله‌ای [۶]

۸. راه‌ماهی کالورتی Culvert Fishway

این راه‌ماهی‌ها کانال‌های سنگی یا خاکی با شیب کم هستند که در مجاورت موانع ساخته می‌شوند و مسیر مناسبی برای حرکت ماهی بین بالادست و پایین دست طبیعی یا طبیعت دوست شناخته می‌شوند.



شکل ۱۲. شماتیک راه‌ماهی کالورتی [۵]

اطلاعات موردنیاز برای طراحی راه‌ماهی:

۱. اطلاعات بیولوژیکی

شناخت انواع ماهی‌های مهاجر، میزان و فصل مهاجرت و اندازه ابعاد ماهی‌ها، همچنین سرعت شنا کردن آنها و بررسی رفتار آنها از جمله اطلاعات بیولوژیکی لازم برای طراحی می‌باشند. سرعت شنا کردن، حدودی را برای حداکثر سرعت آب در راه‌ماهی به دست می‌دهد و به طراح اجازه می‌دهد که شرایط جریان را به نحوی برقرار کند که ماهی بدون خستگی یا تأخیر زائد شنا کند. رفتار ماهی نیز در انتخاب نوع راه‌ماهی مؤثر است، به طوری که مشخص شده است بعضی ماهی‌ها یک نوع راه‌ماهی را از میان انواع دیگر ترجیح می‌دهند.

۲. اطلاعات هیدرولیکی رودخانه:

اطلاعات هیدرولیکی رودخانه از جمله مقاطع عرضی، پروفیل‌های سطح آب، پیچ خوردگی‌های جریان، مسیر جریان، نقاط با سرعت بالا و جریان‌های درهم می‌تواند به تعیین محل ورودی ماهی (ابتدای راه‌ماهی) که بسیار مهم است، کمک کند [۹].



شکل ۱۳. نمونه‌ای از راه‌ماهی کالورتی [۸]

منابع

۱. احسانی، ر.ا. (۱۳۹۵)، "بررسی هیدرولیکی کانال ماهی-قایقرو منطبق با محیط زیست برای سدهای پلاستیکی شمال ایران با استفاده از مدل فیزیکی و عددی"، رساله دکتری، دانشگاه تبریز.
۲. اکتونی، ش. (۱۳۹۰)، "بررسی عددی هیدرولیک راه‌ماهی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی.
۳. محمودی کردستانی، س.ا. (۱۳۷۷)، "ارزیابی جریان در راه ماهی‌ها"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
4. <https://www.dpi.nsw.gov.au/fishing/habitat/rehabilitating/fishways>
5. C. Katopodis, "Introduction to Fishway Design", Technical Report, January 1992.
6. G. Thorncraft and J. H. Harris, "Fish Passage and Fishways in New South Wales: A Status Report", Technical Report, 2000.
۷. لشکرآرا، ب.، فلاوند، ف. و ذاکرمشفق، م. (۱۳۹۵)، "ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی راه‌ماهی دنیل"، مجله‌ی مهندسی منابع آب، سال نهم.
8. Glossary of Terms used in Culvert Fishway Design, Version 1, September 2017.
۹. نوحانی، ا. و علی‌پور، ر.ا. (۱۳۹۸)، "بررسی عددی رفتار هیدرولیکی و سرعت جریان در راه ماهی سد انحرافی کرخه با نرم‌افزار فلوئنت"، فصلنامه مهندسی آب، دوره هفتم.



ساختمان‌های هوشمند

مقدمه

هوشمندی به عنوان یکی از مفاهیم پرکاربرد جوامع علمی امروز در سراسر دنیا، نسبت به موقعیت‌های کاربردی و علمی متفاوت، تعاریف مستقل و مختلفی دارد. از دیدگاه مهندسی، هوشمندی الزاماً وابسته به استفاده از فناوری‌ها و محصولات پیچیده مکانیکی یا الکترونیکی نیست. در حقیقت برای اطلاق صفت هوشمند به یک محصول یا فرآورده باید از دیدگاه غیر مطلق استفاده کرده و برای آن حدودی از هوشمندی بر اساس آنچه نیاز دارد اعلام شود [۱، ۲]. برای تعیین میزان هوشمندی در این بحث، محصولات از دید مهندسی تحت سه المان اصلی بررسی شده است که موارد دیگر به‌عنوان زیر شاخه‌ی هر کدام از این موارد سه‌گانه تعریف و ارزیابی می‌شوند:

- ⊙ کیفیت و بازده حصول هدف از محصول تولید شده؛
- ⊙ میزان و نوع تعامل محصول با کاربر و محیط؛
- ⊙ میزان بسط، تفکیک و ارتقا پذیری.

با این دیدگاه می‌توان برای هر آن چه در محیط کار و زندگی روزمره انسان وجود دارد حدودی از هوشمندی تعیین شود. به عنوان مثال یک منبع آب چند مترمکعبی را تصور کنید، در گذشته‌های دور، امکان تولید منابع آب به شکل گسترده و مجزا برای هر ساختمان وجود نداشته و منابع آب عمدتاً به صورت عمومی در قالب آب‌انبارهای شهری قرار می‌گرفت. با پیشرفت فناوری و ورود به عصر جدیدی از تولید آلیاژهای فولادی در مقاطع و شکل‌های مختلف، امکان تولید منابع فولادی برای ذخیره آب نیز فراهم شد. منابع آب فولادی تولید شده، کیفیت و بازدهی مناسبی در مقایسه با منابع سنتی تامین آب ایجاد کردند. بر همین اساس این منابع با استفاده از مواد جدید توانستند درصدی از هوشمندی را بر مبنای اولین مورد از سه المان بیان شده در تعیین هوشمندی، که پیشتر گفته شد، به خود اختصاص دهند. در مقابل، به علت رفتار مکانیکی و شیمیایی نامطلوب منابع آب فولادی، تحت تأثیر شرایط محیطی مرطوب و عدم امکان برقراری ارتباط و انتقال اطلاعات با کاربر، المان دوم یعنی تعامل محیطی محصول تولید شده برای منابع فولادی مردود است. همچنین منابع فولادی قابلیت ارتقاء و بسط در به‌کارگیری را ندارند که المان سوم بررسی شده برای این محصول نیز رد می‌شود. از این رو می‌توان برای منابع فولادی به‌منظور حصول هدف تأمین آب آسان‌تر برای کاربر، درصدی از هوشمندی را تعریف کرد اما نمی‌توان آن را محصول هوشمند نامید. زیرا المان‌های دیگر برقرار نشده است. با پیشرفت تکنولوژی و ورود مواد اولیه جدیدتر به صنعت، مواد پلیمری نظیر

پلی‌اتیلن (PE) جایگزین فولاد برای تولید منبع آب شدند. این مواد برخلاف فولاد در برابر فرسایش مقاوم‌تر، دارای مواد اولیه ارزان‌تر، قابلیت مانور در تولید و کاربری بیشتر و در شرایط جوی مرطوب و تحت فشار پایدارتر هستند. از این رو المان دوم، یعنی تعامل محصول با محیط برای این منبع‌های آب وجود دارد؛ در نتیجه، درصد هوشمندی تعریف شده برای این منابع آب به قطع بیشتر از منابع آب فولادی است. همچنین ایجاد لبه‌های موج یا گوشه‌های زاویه‌دار در سطوح داخلی و خارجی این منابع آب، با افزایش ممان اینرسی و کششی سطح مقطع بدون نیاز به افزودن مواد اولیه بیشتر، هوشمندی در بهبود کیفیت تولید به جهت افزایش پایداری و طول عمر محصول است.

با این دیدگاه می‌توان درصد‌های مختلفی از هوشمندی را برای تمام محصولات بیان کرد اما در نگاه رایج برای آنکه یک محصول به‌عنوان یک کالای هوشمند شناخته شود، باید درصد قابل قبولی از تمام المان‌های بیان شده را متناسب با امکانات و شرایط موجود در جامعه داشته باشد. بر همین اساس تلفن‌های همراهی که تا حدود سال‌های ۲۰۱۰ میلادی تولید می‌شدند، اگرچه از درصد مطلوبی برای تعامل با محیط و کاربر همچنین دستیابی به هدف تولید تلفن همراه، یعنی ایجاد ارتباط بین افراد، برخوردار بودند اما به علت عدم امکان ارتقا و بسط‌پذیری در کاربری و امکانات روز جامعه، در شاخه محصولات هوشمند قرار نمی‌گیرند حتی اگر درصد قابل توجهی از پیچیدگی در ساخت را نسبت به سایر محصولات صنعتی به خود اختصاص دهند.

نویسنده: علی اکبر شاکری

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی ساختمان‌های هوشمند، دانشگاه تربیت مدرس

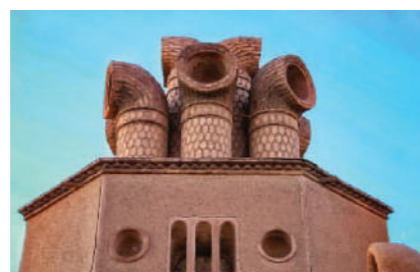


ساختمان هوشمند

ایران هم به گونه‌ای در شاخه‌ی ساختمان‌های هوشمند جای دارد. به عنوان مثال تفاوت در نوع و جنس پی‌های ساختمان‌های کهن استان‌های نواحی شمالی و حاشیه دریای کاسپین بر اساس شیب زمین، میزان بارش و پوشش گیاهی از مواردی است که می‌توان ارتباط سازه با شرایط اقلیمی، متناسب با امکانات موجود، در این ساختمان‌ها و مقایسه آن‌ها با یکدیگر مشاهده کرد. در دشت‌های استان مازندران ساختمان‌ها با کرسی‌های سنگی با ارتفاع کم (تا حدود یک متر بالاتر از تراز صفر زمین) ساخته می‌شدند این درحالی‌است که در مناطق کوهستانی و شیب‌دار از پی‌های سنگی منفرد با شناژ و ستون‌های چوبی بعضاً تا ارتفاع ۳ متر استفاده شده است. همچنین در مواد ساخت دیوارهای ساختمان‌های مناطق اقلیمی گوناگون ایران تفاوت وجود دارد. دیوارهای خشتی و کاه‌گلی که در دشت‌های مرکزی و حتی جنوبی ایران بسیار رایج است در دامنه و ارتفاعات رشته کوه‌های البرز و زاگرس به ندرت دیده شده و دیوارهای این مناطق از نوع سنگی با ضخامت بیشتر بوده‌اند. این موارد بیانگر پویایی خارجی ساختمان است که در قرن‌های گذشته به تنوع و موارد عدیده در مهندسی عمران و معماری ساختمان‌های ایران بزرگ دیده می‌شود که این ساختمان‌ها را نسبت به زمان خود به عنوان ساختمان هوشمند قرار می‌دهد. اما بر اساس آنچه پیشتر گفته شد یکی از المان‌های بررسی هوشمندی در مجامع علمی نوین، بسط، تفکیک و ارتقاپذیری است که برای ساختمان‌های هوشمند نیز باید صدق کند. از این جهت ساختمان‌های گذشته متناسب با شرایط جوامع امروزی سازگار نیستند و امکان ارتقاپذیری قابل ملاحظه‌ای هم برای آن‌ها وجود ندارد. در نتیجه نمی‌شود به عنوان ساختمان هوشمند در عصر جدید خطاب شوند. امروزه اکثر قریب به اتفاق مواد، مصالح و طراحی‌های عمرانی و معماری به کاررفته در ساختمان‌های نقاط مختلف دنیا کاملاً مشابه یکدیگرند که دقیقاً در تضاد تعریف هوشمندی قرار دارد. چرا که شرایط اقلیمی متفاوت نیازمند رفتار مخصوص به خود است و یکنواختی طراحی و مواد بکار رفته، پویایی خارجی و حتی داخلی ساختمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

متناسب با آنچه برای تعریف هوشمندی به اختصار بیان شد، ساختمان هوشمند نیازمند بررسی چند جانبه مواردی است که در شاخه چند علم مهندسی عمران، مکانیک، برق و الکترونیک، پلیمر، IT و نانو فناوری به صورت همزمان و اشتراکی قرار می‌گیرد. ساختمان هوشمند در اولین گام باید نسبت به شرایط زیست بومی که در آن قرار دارد از پویایی داخلی و خارجی مطلوبی برخوردار باشد. پویایی داخلی تعامل فعال و پویای ساختمان با کاربر (رفاه، ایمنی و امنیت انسان ساکن در ساختمان) و شرایط محیطی حاکم (هوا، نور، دما، انرژی و...) بر آن است. در مقابل پویایی خارجی تناسب سازه و ساختار (عمرانی، معماری و...) آن بر اساس موقعیت اقلیمی (منابع طبیعی، دمای هوا، نور محیطی، جانداران و...) و خطرات زیست‌محیطی (زلزله، طوفان، سیل و...) است. پس از تعیین میزان برقراری این دو حالت پویایی در گام اول، به عنوان گام دوم باید جزئیات اعمال و اجرای این موارد در پروژه، طراحی و امکان‌سنجی شوند. در گام سوم لازم است برنامه‌های طراحی شده پیش از تهیه و اجرا در طرح، مورد بررسی تکمیلی قرار گیرند. اینکه اجرای هر یک از ایده‌های طراحی شده چه میزان از هدف نهایی را تأمین می‌کند؛ اجرایی شدن هر یک از طرح‌ها چه مقدار انرژی و منابع را استفاده کرده و چه بازده و آورده‌ای دارد؛ آیا پروژه‌ی طراحی‌شده از پایداری و دوام لازم در طول عمر مفید سازه برخوردار است یا در بازه‌های زمانی کوتاه نیاز به تعمیر و تنظیم مجدد دارد. در نهایت پس از بررسی این سوالات و مواردی از این دست، در گام چهارم و نهایی، طرح‌های برنامه‌ریزی و تعیین‌شده در پروژه اجرا می‌شوند [۲].

بر اساس این تعریف از ساختمان هوشمند، برخی از بناهای مسکونی و غیر مسکونی نقاط مختلف ایران، با در نظرگیری شرایط اقلیمی متفاوت در قرن‌های گذشته، در گروه ساختمان‌های هوشمند قرار می‌گیرد. بادگیرها و سقف‌های گنبدی ساختمان‌ها در مناطق گرم‌سیر یزد، کرمان و غیره نمونه‌ی بارز ساختمان‌های هوشمند متناسب با شرایط اقلیمی، امکانات موجود در زمان ساخت و جزئیات منابع طبیعی حاکم است. همچنین تنوع مصالح ساختمانی به کاررفته در اجزای سازه‌ای ساختمان‌ها در اقلیم‌های متفاوت



شکل ۱. تفاوت در معماری، سازه و مصالح بکار رفته در ساختمان‌های سنتی نقاط مختلف ایران بر اساس شرایط زیست محیطی

اجزای ساختمان هوشمند

بر اساس نیازها و تعاریف جوامع امروزی، ساختمان هوشمند دایره‌ی گسترده‌ای از علوم مهندسی را در بر می‌گیرد تا کیفیت زندگی و کار انسان را بهبود ببخشد. به‌طور کلی آنچه امروز به عنوان ساختمان هوشمند شناخته می‌شود یک یا چند مورد از المان‌های هوشمندی که در ادامه بیان می‌شود را دارد. موارد بیان شده هرکدام بهبود دهنده‌ی بخشی از اصول شش‌گانه ایمنی، امنیت، انرژی، رفاه و منابع مالی و انسانی هستند [۳]. در جدول ۱ موارد شناخته شده از ساختمان‌های هوشمند به‌طور جامع ارائه شده است.

♦ **ایمنی ساختمان (BS-Building Safety):** سیستم‌های اعلام و اطفای حریق، عایق‌های ضد پرتوهای رادیویی مضر، سیستم‌های سازه‌ای مهار زلزله و طوفان

♦ **مدیریت ساختمان (BMS-Building Management System):** سیستم‌های کنترل و مدیریت انرژی، کنترل ورودی و خروجی‌های ساختمان، کنترل و پایش مصرف آب به‌طور دقیق و اعلان نشتی، کنترل بالابر و آسانسورها، سیستم‌های رفاهی محیط‌های داخلی خانه

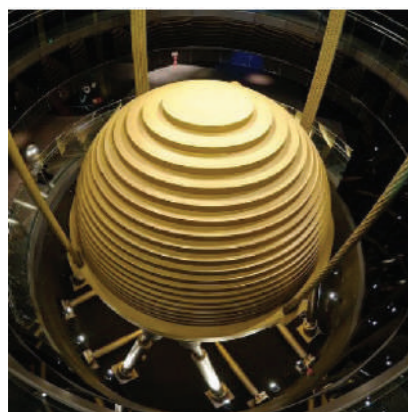
♦ **تأمین انرژی ساختمان:** تأمین انرژی الکتریکی و حتی گازی ساختمان از طریق پسماندهای گلخانه‌ای، فاضلاب، انرژی خورشیدی و باد، تأمین انرژی الکتریکی ساختمان در زمان قطع برق شهری از طریق موتورخانه‌ها یا باتری‌های مخصوص متناسب با کاربری و اهمیت ساختمان

♦ **هوا و دمای ساختمان (HVAC-Heating, Ventilation, and Air Conditioning):** سیستم‌های تهویه، گرمایش و سرمایش (تنظیم دما) ساختمان

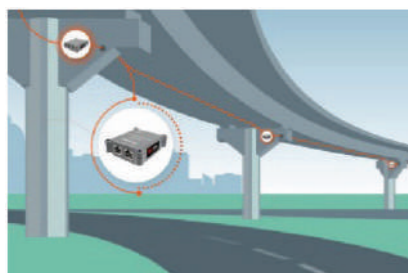
♦ **پایش سلامت سازه (BHM-Building Health Monitoring):** کنترل خرابی و وضعیت سلامت المان‌های سازه‌ای ساختمان

♦ **شارژ وسایل نقلیه (PEHV-Charging of Electric and Hybrid Vehicles):** کنترل و تأمین سیستم‌های شارژ وسایل نقلیه داخلی (سیستم‌های نظافتی و حمل نقل درون شبکه) و خارجی (وسایل نقلیه خودرویی شخصی کاربران ساختمان)

♦ **مدیریت پسماند ساختمان:** کنترل و پایش فاضلاب و پسماندهای جامد، جلوگیری از نشت پسماند در محیط داخلی و خارج از ساختمان، تصفیه و تفکیک فاضلاب و پسماند در محل متناسب با کاربری و اهمیت ساختمان



شکل ۲. میراگر ثقلی



شکل ۳. سیستم‌های پایش سلامت سازه



شکل ۴. پریپتر ۳ بعدی هوشمند ساختمان

♦ **سیستم‌های ارتباطی:** تأمین خطوط ارتباطی بی‌سیم و کابلی، تأمین خطوط ارتباطی اضطراری در نقاط خاص ساختمان برای زمان وقوع حادثه، شبکه‌های محلی داخلی و خارجی ارتباط ساختمان‌ها، سیستم‌های اعلان بروز حادثه به مکان‌های اورژانسی مانند آتش نشانی، پلیس و بیمارستان

♦ **سیستم‌های سازه‌ای و ساخت‌وساز:** پیرینترهای سه بعدی ساختمان‌سازی، سیستم‌های تاورکریپن هوشمند، ربات‌های دیوارچین و قالب‌گیر

آینده‌ی ساختمان‌های هوشمند

در دنیا و کشورما بسیار وسیع و مستعد تغییرات بزرگ و اساسی خواهد بود. همان‌طور که براساس آمار ارائه شده توسط مجموعه Fortune Business Insights در سال ۲۰۲۲ نرخ سرمایه‌گذاری بر ساختمان‌های هوشمند در سال ۲۰۲۱ معادل ۶۷/۸ میلیارد دلار بوده که پیش‌بینی می‌شود این مقدار تا سال ۲۰۲۹ به ۳۲۸ میلیارد دلار برسد [۴].

مهندس ساختمان هوشمند در طی تحصیلات آکادمیک، پس از گذراندن دوره‌ی لیسانس مهندسی عمران و ورود

به دوره‌های تحصیلات تکمیلی در دانشکده‌های علوم و فناوری‌های بین رشته‌ای دانشگاه‌ها در چند زمینه‌ی علوم و فنون مهندسی به صورت همزمان تربیت می‌شود. فراگیری علوم و فنونی از گرایش‌های مهندسی عمران، مکانیک، پلیمر، نانو، برق و کنترل و... باعث می‌شود تا بتوان به‌عنوان یک طراح و مدیر پروژه نیازهای یک ساختمان یا سازه با هرکاربری را بر اساس شرایط موجود و اهداف نهایی طرح‌ریزی کرد و پس از ارزیابی و امکان‌سنجی‌های نهایی خط مشی پیشروی پروژه را گام به گام تعیین کرد. بر اساس تعاریف جامع دانشگاهی و مراکز آکادمیک مانند دانشگاه UCL انگلستان، مهندس ساختمان هوشمند باید بتواند طرحی با بیشترین بازدهی و پویایی داخلی و خارجی برای دستیابی به اهداف پروژه ارائه کرده و تا پایان روند پیشروی آن را بر اساس شرایط پروژه مدیریت یا پیش‌بینی کند [۵].

دانشکده‌ی علوم و فناوری‌های بین رشته‌ای دانشگاه تربیت مدرس اولین دانشگاهی است که زمینه‌ی تحصیل و تربیت مهندسين ساختمان‌های هوشمند را در ایران در مقطع تحصیلات تکمیلی فراهم کرده است.



آینده‌ی طراحی برای احقاق هدف طرح استفاده می‌شود

جدول ۱. معیار و شاخص‌های انتخابی در طراحی ساختمان هوشمند [۳]

ردیف	شاخه	زیر شاخه	نمونه‌ها
۱	ساختارهای محیط زیستی، حفظ و سلامت محیط زیست	المان‌های انرژی	۱- کنترل انرژی مصرفی ۲- ذخیره و حفاظت از انرژی ۳- بهبود انرژی
۲	استفاده از فضا و منعطف بودن طراحی ساختمان	استفاده بهینه از فضا منعطف یا دینامیک بودن طراحی	۴- تجدید انرژی ۵- کنترل آلودگی مبتنی بر سوخت فسیلی ۶- روش‌های سرمایه‌گذاری، گرمایش و تهویه هوا ۷- امکانات تهویه طبیعی هوا ۸- امکانات تأمین نور طبیعی ۹- تمیز سازی آسان ۱۰- سقف‌های کاذب
۳	هزینه‌های ساختمان هوشمند	هزینه‌های بهره برداری هزینه‌های بلند مدت شامل نگهداری، تعمیر و...	۱۱- سیستم گرمایش از کف ۱۲- سیستم کفسازی متحرک ۱۳- امکان افزایش فضا (طراحی دینامیک) ۱۴- انعطاف‌پذیری فضای ساختمان ۱۵- شبکه اینترنت بی‌سیم ۱۶- تسهیلات کابلی و الکتریکی ۱۷- هزینه‌های راه اندازی اولیه ۱۸- هزینه‌های کاربری سیستم‌ها ۱۹- هزینه‌های نگهداری سیستم
۴	رفاه کاربر (عموما انسان)	کاربری آسان	۲۰- مصرف انرژی طی تغییر فاز ساختمان ۲۱- جلوگیری از گسترش و تجدید هزینه‌ها ۲۲- هزینه آموزش و راه اندازی ۲۳- بازار پذیری طرح ۲۴- مجموع هزینه‌های زندگی ۲۵- مدیریت نگهداری و مراقبت ۲۶- کیفیت هوای داخلی (IAQ) ۲۷- رفاه و سلامتی ساکنین ۲۸- تأمین آب گرم داخلی ۲۹- میزان هوای تازه ۳۰- استاده از نور طبیعی روز ۳۱- راحتی دسترسی برای نصب ۳۲- سهولت کنترل عایق‌های صوتی ۳۳- تأمین گرمای رفاهی ۳۴- آرامش بصری
۵	کارایی ساختمان	میزان بازدهی و کیفیت تأمین هدف طراحی بلاایای طبیعی (زلزله، طوفان، سیل و...)	۳۵- پاسخگویی در برابر تغییر دما ۳۶- پاسخگویی در برابر تغییر نور خورشید ۳۷- سطح سیستم ۳۸- قابلیت ادغام سیستم‌ها ۳۹- قابلیت اطمینان از خدمات ۴۰- کارایی و بازدهی سیستم ۴۱- پایداری سیستم ۴۲- تأمین توقعات کاربر ۴۳- امکان بروز رسانی و ارتقا سیستم ۴۴- افزایش بهره‌وری برای کاربر ۴۵- بهبود عملکرد سازمان‌های تجاری ۴۶- عمر مفید ساختمان ۴۷- اتماشسیون اداری ۴۸- تعامل پر سرعت اطلاعات ۴۹- تأمین پهنای باند لازم برای کنفرانس‌های ماهواره‌ای ۵۰- تشخیص خودکار خرابی ۵۱- نظارت از راه دور ۵۲- منطبق بر فرهنگ و مقررات ۵۳- امکانات فرار فوری در موقعیت خطر ۵۴- زمان تخلیه کامل ۵۵- سیستم‌های اعلام و اطفای حریق ۵۶- تشخیص زلزله ۵۷- نظارت بر بار باد ۵۸- سیستم‌های نظارت و کنترل سازه ۵۹- محدوده تحت سرپرستی و نظارت ۶۰- کنترل از راه دور یا نظارت خودکار ۶۱- راه ورود به سیستم و در دست گرفتن کنترل ۶۲- استفاده از طراحی‌های فوق فناوریانه ۶۳- استفاده از مزایای هوش مصنوعی، فناوری اطلاعات برای پاسخگویی به تغییرات در ساختمان
۶	ایمنی و امنیت ساختمان	آتش سوزی سرقت	
۷	فرهنگ	بررسی ساختار، الزامات ملی-مذهبی و نیازمندی‌های جامعه هدف	
۸	فناوری	المان‌های فناوریانه لازم برای ساختمان	
۱	BMS	سیستم‌های مدیریت ساختمان	
۲	BAS	سیستم‌های اتوماسیون ساختمان	
۳	سنسورها	سنسورهای محیطی سنسورهای تعاملی	
۴	مواد هوشمند	مواد با کاربری چندگانه و تعاملی خواص مربوط به توانمندی و کارایی مواد	
۵	نمای هوشمند	بوسته‌های هوشمند نماهای تعاملی	
۶	طراحی تأثیر پذیر و پایدار	تکنیک‌های طراحی محیطی تکنیک‌های کنترل فضای داخلی ساختمان	
		انرژی خورشیدی	
		انرژی باد	
۷	منابع تجدید پذیر	زمین گرمایی	

منابع

1. Sinopoli, J., Chapter 1-What Is a Smart Building. Smart Building Systems for Architects, Owners and Builders. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-653-8.00001-6>, 2010.
2. Buckman, A.H., M. Mayfield, and S.B. Beck, What is a smart building? Smart and Sustainable Built Environment, 2014. 3(2): p. 92-109.
3. Omar, O., Intelligent building, definitions, factors and evaluation criteria of selection. Alexandria engineering journal, 2018. 57(4): p. 2903-2910.
4. Fortune Business Insights ,Smart building market size, share & COVID-19 impact analysis, by component (Solution, and services), by application (Residential, and commercial), and regional forecast, 2022-2029. 2022; Available from: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/smart-building-market-101198>.
5. UCL University, Smart Buildings and Digital Engineering. Available from: <https://www.ucl.ac.uk/prospective-students/graduate/taught-degrees/smart-buildings-and-digital-engineering-msc>.



مصالح کامپوزیتی تقویت شده با الیاف FRP در مهندسی عمران: خصوصیات، مزایا و کاربردها

مقدمه

کامپوزیت‌ها در طول سال‌های اخیر در صنایع دریایی، هوانوردی و خودروسازی توسعه یافته‌اند، کامپوزیت‌ها دارای مزایا و خواص متنوعی هستند، برخی از این مزایا عبارت‌اند از: مقاومت بالا، سهولت ساخت، مقاومت در برابر خوردگی و ... مهندسين عمران به دليل طراحی دشوار و رفتار پیچیده کامپوزیت‌ها و هزینه اولیه بالاتر و درک محدود از کامپوزیت‌ها تمایلی به استفاده از کامپوزیت‌ها نداشته‌اند [۱].

FRP مخفف عبارت Fiber Reinforced Polymer Or Plastic (پلاستیک‌های مسلح به الیاف) است. مواد FRP مواد کامپوزیتی هستند که از یک ماتریس و یک ماده تقویت کننده بصورت الیاف تشکیل شده و برای ایجاد محصولی که خواص بهتری نسبت به مواد تشکیل دهنده اولیه دارد، به هم متصل می‌شوند.

یکی از مزایای FRP در مقایسه با فولاد، کاهش وزن سازه است که باعث کاهش بار سازه و در نتیجه کاهش هزینه‌های ساخت و نگهداری می‌شود. همچنین، FRPها از ماده‌های غیرفلزی ساخته شده‌اند، بنابراین در برابر خوردگی و زنگ زدگی مقاومت بیشتری دارند. از این رو، طول عمر سازه‌هایی که از FRP استفاده شده، بیشتر از سازه‌هایی است که از فولاد استفاده شده. همچنین FRPها قابلیت انعطاف‌پذیری داشته و در برابر زلزله مقاومت بیشتری دارند.

به‌طور کلی، استفاده از FRP به دلیل مزایای بسیار زیاد آن‌ها، مورد توجه قرار گرفته است. با این حال، برای استفاده از FRP در سازه‌ها، باید مسائل مربوط به طراحی و اجرای آن‌ها در محیط‌های مختلف، به دقت مورد بررسی قرار گیرد.

هدف این تحقیق ارائه خلاصه‌ای از تکنولوژی کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده با الیاف FRP است. پس از مروری کوتاه بر تاریخچه و معرفی اصول اولیه کامپوزیت‌ها، خواص و کاربردهای اخیر میدانی آن‌ها ارائه می‌شود.

نویسنده: رضا سرائی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران



معرفی و تاریخچه

FRPها معمولاً با الیاف مختلف (شیشه، کربن، آرامید، بازالت) ساخته می‌شوند، که استحکام و سفتی آن را فراهم می‌کنند، در حالی که ماتریس انتقال نیرو بین الیاف را فراهم می‌کند. حاصل چنین ترکیبی افزایش استحکام، دوام، و مقرون به صرفه بودن است. علاوه بر این، ماتریس از فیبر در برابر تخریب محیطی محافظت می‌کند و به تولید بهینه یک محصول در حجم بالا کمک می‌کند. ماتریس‌ها معمولاً اپوکسی^۱، پلی‌استر^۲، وینیل‌استر^۳ یا فنولیک^۴ هستند.

استفاده از کامپوزیت‌ها به اولین تمدن‌ها برمی‌گردد، اما استفاده از کامپوزیت‌های مهندسی شده در قرن اخیر به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. آئین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های آن به سرعت در حال تکامل هستند تا با رشد اخیر کامپوزیت‌ها در زیرساخت‌های عمرانی همگام شوند. اغلب دقیق‌ترین راهنماها توسط تولیدکنندگان ارائه می‌شود. این راهنماها بر اساس آزمایش و سایر تجربیات آن‌ها برای محصولات خاص بوده و دارای ویژگی‌هایی است که می‌توان آن را کاملاً سفارشی کرد تا متناسب با نیازهای خاص باشد [۲].

زمینه اجرای کامپوزیت مصنوعی مدرن در اواخر دهه ۱۹۴۰ با ظهور تقویت کننده‌های شیشه‌ای با کیفیت و رزین‌های پخته شده با دمای اتاق آغاز شد. اگرچه لئو هندریک باکلند^۵ کامپوزیت‌های مدرن را با رزین‌های مصنوعی در اوایل دهه ۱۹۰۰ اختراع کرد، کامپوزیت‌ها پس از جنگ جهانی دوم با موفقیت در طیف وسیعی از کاربردها مورد استفاده قرار گرفتند [۳].

انواع الیاف FRP

انواع کامپوزیت‌های FRP با یک الیاف خاص مشخص می‌شوند و با توجه به نوع الیاف بکار رفته در آن‌ها نام‌گذاری می‌شوند. به عنوان مثال، کامپوزیت‌های با الیاف شیشه یا کربن به ترتیب به عنوان کامپوزیت‌های شیشه‌ای FRP یا کامپوزیت‌های تقویت شده با فیبر کربن شناخته می‌شوند [۴].

- 1 Epoxy
- 2 Poly ester
- 3 Vinyl ester
- 4 phenolic
- 5 Leo Hendrik Baekeland

الیاف متداولی که در ساخت مواد کامپوزیت مطرح هستند عبارتند از:

♦ الیاف شیشه^۶ (GFRP)

الیاف شیشه‌ای رایج‌ترین نوع فیبر برای کامپوزیت‌های FRP هستند و به‌طور کلی الیاف شیشه دارای خواص مکانیکی کمتری نسبت به سایر الیاف (الیاف کربن و آرامید) است. با این حال، الیاف شیشه به عنوان تقویت کننده در کامپوزیت‌های پلیمری، از نظر هزینه بسیار کمتر و به‌طور قابل توجهی شکننده‌تر نسبت به کربن هستند.

♦ الیاف کربن^۷ (CFRP)

الیاف کربنی به دلیل سختی/استحکام نسبتاً بالا نسبت به وزن خود، بیشترین کاربرد را در صنایع هوافضا و کامپوزیت‌های پیشرفته دارند. الیاف کربن دارای تحمل حرارت بالا، مقاومت در برابر خستگی، مقاومت در برابر خوردگی و مقاومت شیمیایی بالا هستند.

♦ الیاف آرامید^۸ (AFRP)

الیاف پلی آمید^۹ یا آروماتیک^{۱۰} نسبت به الیاف شیشه‌ای دارای استحکام و نسبت سفتی به وزن بالاتری هستند. الیاف آرامید استحکام و مقاومت بسیار خوبی در برابر ضربه دارند. علاوه بر این الیاف آرامید در مقابل بارگذاری ضربه، انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به الیاف کربنی دارند.

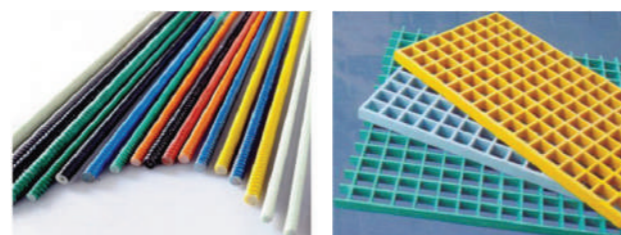
♦ الیاف بازالت^{۱۱} (BFRP)

بازالت، فیبر نسبتاً تازه وارد به FRP و ساختار کامپوزیت‌ها است. بازالت از مواد طبیعی موجود در سنگ‌های آتشفشانی تولید می‌شود. الیاف بازالت دارای ترکیب شیمیایی مشابه با الیاف شیشه هستند اما ویژگی‌های مقاومت بهتری دارند [۵].

♦ اشکال مختلف FRP

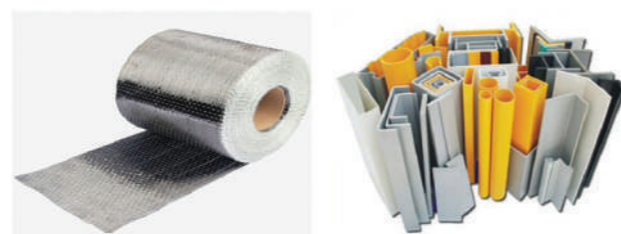
FRP در انواع شکل‌های مختلفی تولید می‌شود که بسته به نوع استفاده، شکل آن متفاوت است. برخی از شکل‌های معمول FRP که در شکل ۱ نشان داده شده‌اند عبارتند از: مش‌ها، میلگردها، ورق‌ها و پروفیل‌ها.

- 6 Glass Fiber Reinforced Polymer
- 7 Carbon Fiber Reinforced Polymer
- 8 Aramid Fiber Reinforced Polymer
- 9 Polyamide
- 10 aromatic
- 11 Basalt Fiber Reinforced Polymer



میلگردهای FRP

مش‌های FRP



ورق‌های FRP

پروفیل‌های FRP

شکل ۱- انواع محصولات FRP

خواص فیزیکی و مکانیکی FRP

FRPها، دارای خواص مکانیکی و فیزیکی منحصر به فردی هستند که آن‌ها را به یک جایگزین موثر برای فولاد و دیگر مصالح در بسیاری از بخش‌های سازه‌های مختلف تبدیل کرده است. برخی از خصوصیات مکانیکی و فیزیکی این مصالح عبارتند از [۶]:

۱. مقاومت بالا در برابر کشش و فشار: FRPها دارای مقاومت بالایی در برابر کشش و فشار هستند.

مزایا و معایب FRP

FRPها، دارای مزایا و معایب مختلفی هستند که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود:

مزایا شامل:

بالا بودن مقاومت در مقابل نیروهای خمشی و برشی	بالا بودن دوام و پایداری
سبکی و بالا بودن نسبت مقاومت به وزن	ظرفیت جذب ارتعاشات
انعطاف پذیری کاربرد برای سطوح در شکل‌های مختلف	مقاوم در برابر ضربه
مقاوم در برابر رطوبت	شفافیت در مقابل اشعه ماوراء بنفش
مقاومت در برابر خستگی و تغییرات دوره‌ای درجه حرارت	مدول الاستیسیته بالا
عایق بودن در محیط‌های مغناطیسی و الکتریکی	مقاوم در مقابل خوردگی و عوامل شیمیایی

معایب شامل:

ضعف در آتش سوزی	قیمت نسبتاً بالا
نیازمند نیروی متخصص برای دقت در طراحی	

۲. مقاومت بالا در برابر خمش: FRPها دارای مقاومت بالایی در برابر خمش هستند؛ به عنوان مثال، استفاده از FRP به عنوان الیاف متمرکز خمشی در سازه‌های بتنی، می‌تواند مقاومت بالایی در برابر خمش را فراهم کند.

۳. مقاومت بالا در برابر خوردگی و زنگ زدگی: FRPها به دلیل عدم وجود فلز، دارای مقاومت بالایی در برابر خوردگی و زنگ زدگی هستند و می‌توانند به عنوان جایگزینی مناسب برای فولاد در سازه‌های مجاور آب مورد استفاده قرار گیرند.

۴. وزن سبک: مصالح FRP دارای وزن کمتری نسبت به فولاد هستند و این باعث کاهش بار سازه و در نتیجه کاهش هزینه‌های ساخت و نگهداری می‌شود.

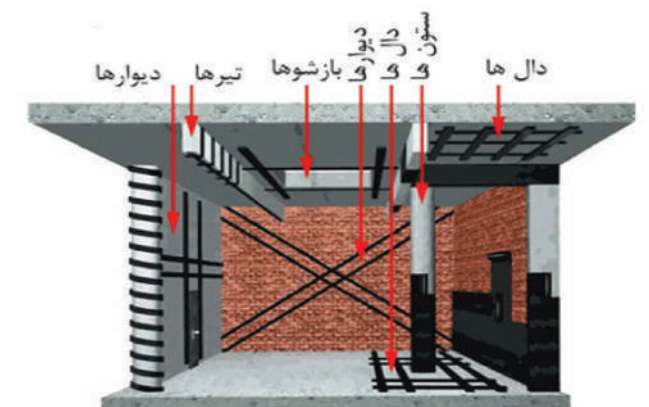
۵. قابلیت انعطاف‌پذیری: FRPها دارای قابلیت انعطاف‌پذیری بالایی در برابر زلزله هستند و می‌توانند به عنوان یکی از مزایای این مصالح در سازه‌های مجاور آب محسوب شوند.

۶. عدم هدر رفت منابع طبیعی: تولید FRPها نسبت به تولید فولاد، نیاز به مقدار کمتری از منابع طبیعی دارد و به عنوان یک مصالح پایدار و بازیافت پذیر در نظر گرفته می‌شود.

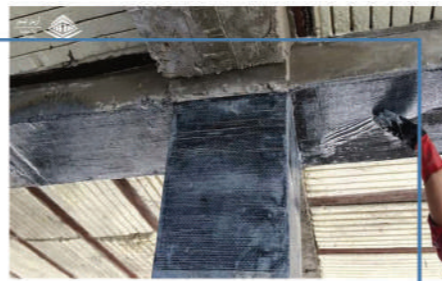
موارد کاربرد FRP در مهندسی عمران

FRPها، در مهندسی عمران به عنوان یک جایگزین برای مصالح سنتی مانند فولاد و بتن بکار می‌روند. برخی از موارد کاربرد این مصالح در مهندسی عمران عبارتند از:

- ♦ افزایش ظرفیت باربری و شکل پذیری ستون‌ها، تیرها، دال‌ها و اتصالات بتن آرمه؛
- ♦ تقویت سازه‌های مقاوم در برابر انفجار تقویت تیر و ستون‌های چوبی؛
- ♦ تقویت مخازن فولادی و بتنی؛
- ♦ تقویت سازه‌های ساحلی و دریایی؛
- ♦ تقویت پایه پل‌های مجاور آب؛
- ♦ تقویت دودکش‌های بتن آرمه با مصالح بنایی؛
- ♦ تقویت دیوارهای بتن آرمه؛
- ♦ تقویت دیوار تونل‌ها؛
- ♦ تقویت لوله‌های بتنی یا فولادی؛
- ♦ تقویت دیوارهای آجری و مصالح سنتی؛
- ♦ ساخت دیوارهای ساحلی؛
- ♦ سقف‌های پشت بام‌های صنعتی؛
- ♦ سیستم دال کف در محیط‌های خورنده شیمیایی؛
- ♦ مرمت و تقویت سازه‌های مهمی چون بیمارستان‌ها و آثار باستانی.



شکل ۲- انواع کاربرد FRP در ساختمان



تقویت ستون



تقویت مخزن



تقویت لوله



تقویت تونل



تقویت دیوار بتن آرمه



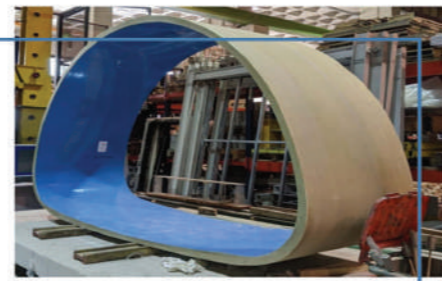
تقویت پایه پل مجاور آب



مقاوم سازی دیوار دریایی



دروازه ساخته شده با FRP



کالورت ساخته شده با FRP



تقویت دال

منابع

1. Lu, Y., Composites for hydraulic structures: a review. 2018: West Virginia University.
۲. مستوفی‌نژاد، د. کاربرد کامپوزیت‌های FRP در صنعت ساختمان و سازه‌های هیدرولیکی، in کمیته ملی سدهای بزرگ ایران. ۲۰۰۲.
3. Karbhari, V.M., Rehabilitation of Pipelines Using Fiber-reinforced Polymer (FRP) Composites. 2015: Elsevier Science.
4. Zilch, K., R. Niedermeier, and W. Finckh, Strengthening of Concrete Structures with Adhesively Bonded Reinforcement: Design and Dimensioning of CFRP Laminates and Steel Plates. 2015: Wiley.
5. GangaRao, H.V.S. and W. Prachasree, FRP Composite Structures: Theory, Fundamentals, and Design. 2022: CRC Press.
6. Singh, K.K. and M. Shinde, Impact Behavior of Fibre Reinforced Laminates: Fundamentals of Low Velocity Impact and Related Literature on FRP. 2022: Springer Singapore.

نشست از سامانه‌های آبرسانی شهری و مؤلفه‌های مؤثر بر آن

خلاصه

نشست از سامانه‌های آبرسانی شهری بخش عمده‌ای از اتلاف آب را در بر می‌گیرد. این موضوع به دلایل بسیاری چون قدیمی شدن شبکه آبرسانی، آسیب رسیدن به لوله‌ها به دلیل تنش‌های سربار خاک و ترافیک شهری و همچنین افت و خیز فشار شبکه آبرسانی، اجرای نادرست لوله‌کشی شهری و خاکریز نامناسب است. با بررسی مؤلفه‌های تاثیرگذار در دبی نشست مثل فشار، جنس لوله، محیط خاکی پیرامون لوله و دما، می‌توان میزان رخداد نشست را کاهش داد و حجم نشستی را مدیریت کرد. در گزارش پیشرو ابتدا کلیاتی از هدررفت آب، انواع آن و دلایل آن مطرح می‌شود سپس به مبانی محاسبه‌ی نشست پرداخته می‌شود.

کلمات کلیدی: مدیریت نشست، دبی نشست، شبکه آبرسانی، فشار، ترک.

نویسنده: سیدحمید علوی

دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست،
seyedhamidalavi@modares.ac.ir



دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه

تشکیل می‌دهد، گاهی اوقات تا بیش از ۷۰ درصد از کل تلفات آب گزارش شده است [۲].

در ادامه کلیاتی از هدررفت آب، انواع آن و دلایل آن گفته می‌شود سپس به روش‌های متداول محاسبه‌ی نشت پرداخته می‌شود و یکی از فرمول‌های بنیادی نشت در آن توضیح داده می‌شود.

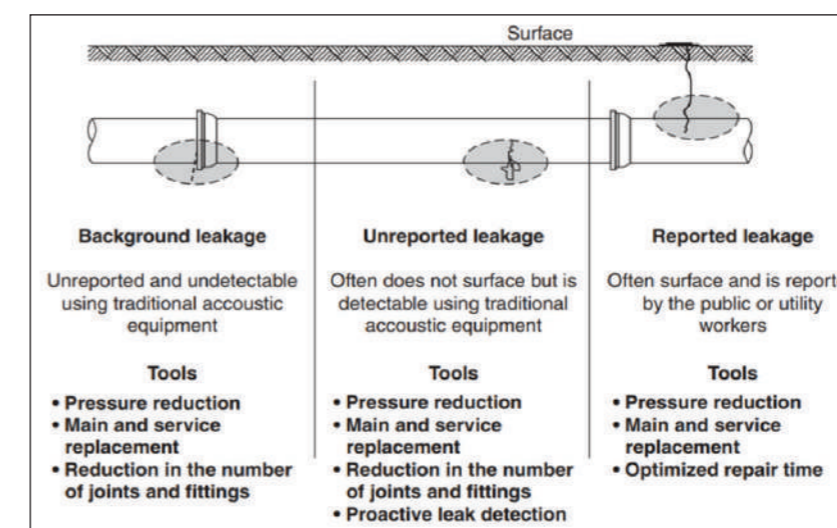
انواع هدررفت آب

انجمن بین‌المللی آب (IWA) دو نوع از هدررفت آب که تولیدکنندگان با آن مواجه هستند را اشاره کرده است [۱]:

هدررفت حقیقی: نشت از سامانه‌های توزیع، اتصالات، تبدیل‌ها، نشت از مخازن هوایی و زمینی، سرریز مخازن، کانال‌های روباز و شیرهای تخلیه هدررفت حقیقی نام دارد. همه‌ی سامانه‌های آب در جهان مقداری هدررفت حقیقی دارند. کارکنان نشت‌یابی معتقدند که هدررفت حقیقی را نمی‌توان به صورت کامل از بین برد؛ در شبکه‌های تازه تأسیس نیز مقدار حداقلی از هدررفت حقیقی وجود دارد ولی تجربه نشان داده است که می‌توان هدررفت حقیقی را چنان مدیریت کرد تا در یک محدوده اقتصادی مناسب قرار گیرد.

هدررفت مجازی: آبی است که به صورت غیر فیزیکی از دست می‌رود و درآمدی نیز ندارد. دلیل این امر می‌تواند خطای سامانه‌های اندازه‌گیری، داده‌های آماری و یا هرگونه آب دزدی و استفاده غیر قانونی از آب باشد. این بخش از هدررفت، هدررفت مجازی نام دارد.

طبق روش ارائه شده توسط انجمن بین‌المللی آب مجموعه هدررفت حقیقی و مجازی به اضافه مقدار مصرف مجاز و ثبت نشده، آب به حساب نیامده نام دارد.



شکل ۱- انواع هدررفت حقیقی و روش‌های مقابله [۱]

طی قرن بیستم جمعیت جهانی رشدی ناگهانی از ۴ میلیارد نفر در سال ۱۹۷۴ میلادی به ۶ میلیارد نفر در سال ۲۰۰۰ میلادی داشت. این افزایش جمعیت نشان از تامین بودن هوای پاک، غذا، آب سالم و بهداشت مناسب است. بشر در طول نیمه‌ی دوم قرن بیستم دریافت که منابع محدود زمین جوابگوی این رشد نیست و نمی‌توان به صورت قبل ادامه داد [۱]. دسترسی به آب یکی از مولفه‌های مهم رشد جمعیت است و بشر نیازمند است جهت حفظ بقای خود با روش‌های مهندسی به برداشت، تصفیه و انتقال آب بپردازد. در کشورهای درحال توسعه، مشکل تامین آب بهداشتی وجود دارد و در کشورهای توسعه یافته مشکل شکل دیگری نیز دارد. در این کشورها به دلیل هدررفت آب، خطر ناپایداری منابع آب در درازمدت وجود دارد. این کشورها در انتقال آب با حجم و کیفیت بالا موفق عمل کرده‌اند اما به میزان زیادی هدررفت آب دارند [۱].

سامانه‌های توزیع آب در سراسر جهان در حال پیر شدن و زوال هستند، در حالی که تقاضا برای این سامانه‌های و در نتیجه منابع آب طبیعی، روز به روز در حال افزایش است. تلفات ناشی از سامانه‌های توزیع آب در بسیاری از شهرها در سراسر جهان به سطوح هشدار دهنده‌ای رسیده است. تلفات آب شامل مولفه‌های مختلفی از جمله تلفات فیزیکی (نشتی)، استفاده غیرقانونی، استفاده بدون اندازه‌گیری و ناشی از عدم ثبت کنتور آب می‌باشد. نشت بخش بزرگی را از تلفات آب

هدررفت حقیقی از سه بخش، که در شکل (۱) نشان داده شده است، تشکیل شده است [۱]:

الف) نشت و شکست‌های گزارش شده: این نوع نشت‌ها قابل رویت، مشکل ساز، با دبی زیاد بوده و زمان کمی طول می‌کشد تا مشتریان و یا پرسنل آب و فاضلاب به دلیل کاهش فشار یا قطعی، متوجه آن شود.

ب) نشت و شکست‌های گزارش نشده: این نوع نشت‌ها قابل رویت نبوده ولی دارای دبی زیاد می‌باشند. همچنین زمان زیادی طول می‌کشد تا مشتریان و یا پرسنل آب و فاضلاب به دلیل کاهش فشار یا قطعی، متوجه آن شوند.

ج) نشت پس‌زمینه: تراوش‌های به هم پیوسته‌ای است که در زانویی‌ها و اتصالات وجود دارند. دبی در این نوع نشت

دلایل هدررفت حقیقی

در کتاب کنترل هدررفت آب در شبکه‌های توزیع دلایل هدررفت آب به شکل زیر ارائه شده است [۱]:



شکل ۲- دلایل هدررفت آب در شبکه‌های توزیع

آندر پایین است که با دستگاه‌های نشت یاب آکوستیک معمولی قابل تشخیص نیست. این نشت آن قدر ادامه پیدا می‌کند تا زیاد شده و قابل شناسایی شود تنها راه کاهش آن مدیریت فشار و جایگزینی زیرساخت‌ها است.

تصور اشتباه رایج این است که شکست در شاه‌لوله‌ها، چون زود به سطح می‌رسد و منجر به اختلال در آب‌رسانی می‌گردد اصلی‌ترین عامل هدررفت آب در لوله‌ها است. اغلب تصور می‌شود که حجم زیادی آب در اثر خرابی ناگهانی لوله‌ها در مدتی کوتاه از دست می‌رود ولی در اثر نشت‌ها و شکست‌های پنهان که سال‌ها ادامه می‌یابد تا تعمیر شود حجم بیشتری آب از دست می‌رود [۱].

گذشته، دیدگاه مرسوم این بود که نشت از سامانه‌های توزیع آب، نسبتاً غیر حساس به فشار است، همان‌طور که توسط معادله‌ی روزنه به صورت زیر نشان داده شده است [۲].

$$q = AC_d \sqrt{2gh} \quad (1)$$

که در آن q دبی جریان، C_d ضریب تخلیه، A مساحت روزنه، g شتاب گرانش و h اختلاف فشار روی دهانه است. معادله‌ی روزنه (۱) برای روزنه‌ای در کنار مخزن به‌دست آمد

در ادامه به شرح عواملی چون فشار، دما، جنس لوله، نوع و اندازه‌ی ترک و مصالح پیرامون ترک پرداخته شده است.

فشار

از گذشته تاکنون، رفتار هیدرولیکی روزنه‌ها به‌طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته است و عکس‌العمل آن‌ها را با درجاتی از اطمینان می‌توان پیش‌بینی کرد. یکی از عوامل اصلی موثر بر نشت، فشار در سامانه‌های توزیع است. در

و تبدیل تمام انرژی پتانسیل را به انرژی جنبشی توصیف می‌کند. ضریب تخلیه برای اعمال تلفات انرژی و کاهش قطر جت در پایین دست روزه، ضرب شده‌است. برای اعمال این معادله برای نشت در لوله‌ها می‌توان آن را به شکل کلی‌تر زیر نوشت.

$$q = ch^\alpha \quad (2)$$

که در آن c به عنوان ضریب نشت و α توان نشت تعریف می‌شود. تعدادی از مطالعات میدانی نشان داده است که α می‌تواند به‌طور قابل توجهی بزرگتر از 0.5 باشد و معمولاً بین 0.5 و 2.79 و با میانگین 1.15 متغیر است [5]. این بدان معنی است که نشت در سامانه‌های توزیع آب نسبت به فشار بسیار حساس‌تر از آنچه تصور می‌شود، است. محدوده توان‌های مشاهده شده منعکس کننده تفاوت‌های اساسی در تأثیر فشار بر میزان نشت است. به عنوان مثال، نصف کردن فشار در یک لوله منجر به کاهش دبی 29% ، 50% و 82% برای توان‌های 0.5 ، 1.0 و 2.5 می‌شود.

دما

دما در ویسکوزیته‌ی سینماتیکی یک سیال، تاثیرگذار است، عدد رینولدز برای یک بازشدگی یا روزه را می‌توان به صورت زیر نوشت. از معادله‌ی (3) نتیجه می‌شود که دبی نشتی برای Re ثابت، (مثلاً برای حداکثر جریان آرام یا انتقالی) متأثر از دمای سیال است. به‌طور مثال، ویسکوزیته آب زمانی که دمای آن از 0 تا 30 درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد تقریباً نصف می‌شود، به این معنی که حداکثر جریان آرام یا متلاطم تقریباً دو برابر می‌شود [2].

$$Re = \frac{4vR}{v} = \frac{4q}{vP} \quad (3)$$

که در آن v سرعت، v ویسکوزیته سینماتیکی سیال و R شعاع هیدرولیکی روزه است (به عنوان مساحت جریان A تقسیم بر محیط خیس شده P تعریف می‌شود).

صدرالساداتی و همکاران [3] به بررسی تأثیر دما در نشت پرداختند. در این مطالعه، میزان آب نشتی از یک شکاف طولی در لوله HDPE به صورت آزمایشگاهی و عددی مورد بررسی قرارگرفت. آزمایش‌ها و نتایج عددی ایشان نشان داد که دما باید به عنوان یک پارامتر مهم در نشت شبکه‌های توزیع آب، WDN¹ در نظر گرفته شود. افزایش دما نه تنها نرخ نشت را افزایش می‌دهد، بلکه تنش تسلیم لوله‌های

HDPE را کاهش می‌دهد که ممکن است باعث تغییر شکل پلاستیک شکاف‌های طولی در شبکه‌های توزیع آب شود. در نتیجه، میزان توان نشت می‌تواند بالاتر از مقدار پیشنهادی $1/5$ باشد که به عنوان حداکثر توان نشتی در فاز الاستیک در نظر گرفته می‌شود. افزون‌براین رفتار پلاستیکی و خواص ویسکوالاستیک لوله‌های HDPE باعث تغییر دائمی ناحیه‌ی اولیه دهانه نشتی می‌شود. در جدول 1 ضریب اصلاح الاستیسیته لوله متناسب با تغییرات دما آورده شده است. بنابراین اگر شبکه‌های توزیع آب در معرض فشار قرار گیرند، توان نشتی (α) و ضریب نشت (c) تغییر خواهند کرد. این تغییر رفتار به ویژه در مناطق گرمسیری، که آب با درجات بالاتر در خطوط لوله جریان دارد، از اهمیت بیشتری برخوردار است، به‌طوری که اجتناب از نوسانات فشار و مدیریت بهینه‌ی فشار در شهرهای گرمسیری ضروری است.

جدول 1- ضریب اصلاح الاستیسیته بر اساس تغییرات دما

Temperature (°C)	Elasticity correction factor (k)
10	1.32
16	1.18
23	1
27	0.93
32	0.82
38	0.73
43	0.64

جنس لوله

ون‌زیل و همکاران [2] نشان دادند که جنس لوله نقش مهمی در رفتار نشتی لوله‌ها دارد. فشار آب در لوله توسط تنش‌های موجود در دیواره‌ی لوله گرفته می‌شود و بنابراین ممکن است عاملی در شکست و رفتار نشتی باشد. اثرات زیر را می‌توان به افزایش فشار داخلی لوله مرتبط کرد.

(الف) ترک‌ها یا شکستگی‌های کوچکی که در فشار کم نشت نمی‌کنند، باعث ایجاد بازشدگی‌های جدید می‌شود.

(ب) مساحت دهانه‌های موجود در لوله به دلیل افزایش تنش در دیواره‌ی لوله، افزایش می‌یابد.

(ج) ترکیب لوله‌ها افزایش می‌یابد [4 و 5] همراه با افزایش متناظر در هزینه‌های نگهداری.

ون زیل و گریونستاین [6] به صورت آزمایشگاهی میزان توان نشت از لوله‌های آسیب‌دیده در صحرا و لوله‌های مصنوعی آسیب‌دیده را مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه شامل سوراخ‌های گرد، ترک‌های طولی و محیطی در لوله‌های

uPVC، فولاد و آریست سیمان بود. همه‌ی جریان‌ها متلاطم بودند و نشت‌ها در معرض جو بودند. توان‌های نشت حاصل بین 0.41 و $2/30$ متغیر بود. یافته‌های اصلی مطالعه‌ی ون‌زیل و همکاران به شرح زیر بود [2].

(الف) توان‌های نشت یافت شده در مطالعات میدانی غیر واقعی نیستند.

(ب) بیشترین توان‌های نشت در لوله‌های فولادی زنگ‌زده رخ داده است، احتمالاً به دلیل خوردگی که باعث کاهش مواد حفاظت‌کننده در اطراف سوراخ می‌شود. این برخلاف تصور است که لوله‌های پلاستیکی به دلیل مدول الاستیسیته پایینتر، نشتی بیشتری دارند.

(ج) سوراخ‌های گرد دارای توان‌های نشت نزدیک به مقدار نظری 0.5 بودند و تفاوت معناداری بین لوله‌های فولادی و uPVC برای سوراخ‌های گرد مشاهده نشد.

(د) علاوه بر سوراخ‌های دچار خوردگی، بزرگترین توان‌های نشت برای ترک‌های طولی یافت شد. به دلیل این که تنش‌های محیطی در لوله‌ها معمولاً به‌طور قابل توجهی بیشتر از تنش‌های طولی است.

(ه) توان‌های نشت برای ترک‌های محیطی در لوله‌های uPVC گاهی کمتر از 0.5 بود، که نشان می‌دهد که بازشدگی ممکن است با افزایش فشار منقبض شود. این حالت به این شکل توضیح داده می‌شود که تجهیزات آزمایشگاهی اجازه نمی‌دهد تنش‌های طولی قابل توجهی در لوله ایجاد شود. تصور می‌شود که تنش‌های محیطی باعث کشیده شدن ترک‌ها و در عین حال کاهش سطح آن شده است. این نتایج متعاقباً از طریق تحلیل اجزای محدود تأیید شده است [2].

نوع و اندازه ترک

در تحقیقی که ون‌زیل و همکاران [2] انجام دادند، به بررسی سوراخ‌های گرد، ترک‌های طولی و محیطی در لوله‌های uPVC، فولاد و آریست سیمان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که توان‌های نشت بین 0.41 و $2/30$ متغیر است و سوراخ‌های گرد دارای توان‌های نشت نزدیک به مقدار نظری 0.5 بوده و تفاوت معناداری بین لوله‌های فولادی و uPVC برای سوراخ‌های گرد مشاهده نشده‌است. علاوه بر سوراخ‌های دچار خوردگی، بزرگترین توان‌های نشت برای ترک‌های طولی یافت شد. توان‌های نشت برای ترک‌های محیطی در لوله‌های uPVC گاهی کمتر از 0.5 بود، که نشان می‌دهد بازشدگی ممکن است با افزایش فشار منقبض شود.

جدول 2 نشان می‌دهد که دهانه‌های نشتی با محیط‌های خیس‌شده‌ی کشیده (مانند ترک‌ها) می‌توانند دبی بسیار بزرگتری را برای جریان آرام یا انتقالی نسبت به دهانه‌های مدور با همان مساحت عبور دهند [2].

جدول 2- توان‌های نشت آزمایشگاهی برای تعدادی از شکست‌ها و لوله‌ها [2]

Failure type	Leakage exponent		
	uPVC	Asbestos cement	Mild steel
Round hole	0.52	—	0.52
Longitudinal crack	1.38-1.85	0.79-1.04	—
Circumferential crack	0.41-0.53	—	—
Corrosion cluster	—	—	0.67-2.30

مصالح پیرامون لوله

یولنسکی و نوک [8] نشت ایده‌آل از یک روزه‌ی دایره‌ای را با استفاده از معادله‌ی داری-وایسباخ و مدل خاک 2 بعدی، با معادله‌ی انتشار استاندارد، مدل‌سازی کردند. آن‌ها با ترکیب معادلات ذکر شده، در قالب یک مدل پایدار، تأثیر نفوذپذیری خاک بر مشخصات نشت از لوله را تعیین کردند. آن‌ها همچنین توان α را برای خاک‌های مختلف پیدا کردند. مقدار توان به‌دست آمده برای نفوذپذیری بسیار کم، نزدیک به 1 بود. یعنی خروجی از قانون جذر پیروی نمی‌کرد. با این حال، با افزایش نفوذپذیری، توان تا رسیدن به 0.5 کاهش یافت. یعنی خروجی لوله از قانون ریشه مربع پیروی می‌کرد. آن‌ها چندین آزمایش را روی مدل آزمایشگاهی با خاک رس و خاک معمولی انجام دادند. مقادیر توان برای خاک معمولی 0.3 و برای خاک رسی 0.5 بود. نتایج با مقادیر مدل عددی متفاوت بود.

ون‌زیل [9] پیش‌بینی کرد که خاک‌های اطراف یک نشتی ممکن است بر رابطه‌ی فشار-نشت تأثیر بگذارند، بعید است که هر خاکی ظرفیت فشارهایی را که معمولاً در سامانه‌های توزیع آب یافت می‌شود، داشته باشد. بنابراین، خاک کمی بر فشار-نشت تأثیر می‌گذارد.

والسکی و بزتس [10] با ارائه معادلات نظری به این نتیجه رسیدند که هر دو تلفات خاک و روزه با غلبه اولی در برخی موارد، در نشت تأثیرگذار بودند. آن‌ها یک عامل بدون بعد، OS را به صورت زیر تعریف کردند که نشان‌دهنده‌ی تسلط خاک یا روزه است. هنگامی که OS در حدود مرتبه 1 است،

افت خاک و روزنه به یک اندازه موثر است. در مورد OS بسیار کوچک ($OS < 0.01$)، تلفات خاک غالب است و زمانی که OS بسیار بزرگ است ($OS > 100$)، افت روزنه غالب است.

$$OS = \frac{h}{h_s} = \frac{KA_s q}{2gL} \left(\frac{1}{C_d A} \right)^2 \quad (4)$$

مهدوی و همکاران [۱۱] نیز به تحقیق درباره‌ی پارامترهای جنس خاک بر میزان نشت از لوله‌ها پرداختند. آن‌ها با انتخاب چند نمونه خاک، نشت از لوله در حضور خاک در آزمایشگاه را شبیه‌سازی کردند. برای حذف اثر تغییرات فشار، بر میزان نشت از خاک‌های مختلف، یک توان واحد برای فشار در رابطه‌ی نشت-فشار برای تمامی خاک‌ها محاسبه شد؛ سپس با لحاظ نمودن پارامترهای d_{10} ، d_{50} ، شاخص خمیری (PI) و ضریب هدایت هیدرولیکی خاک (k)، روابط زیر بین دبی نشت و هر یک از پارامترهای جنس خاک به دست آمد.

$$Q = 13.33 D_{50}^{0.1133} P^{0.5745}; R^2 = 0.7357 \quad (5)$$

$$Q = 0.202 \ln(4.2k)_{50}^{0.1133} P^{0.5745}; R^2 = 0.6914 \quad (6)$$

$$Q = 17.105 PI^{-0.155} P^{0.5745}; R^2 = 0.6294 \quad (7)$$

در این روابط، تاثیر مشخصات خاک و تغییرات آن‌ها بر میزان دبی نشت به خوبی ملاحظه گردید. به نحوی که در خاک‌های درشت‌دانه‌تر مقدار نشت از لوله بیشتر از خاک‌های ریزدانه‌تر به دست آمد. همچنین در خاک‌های دارای شاخص خمیری بالاتر، مقدار نشت کمتری به دست آمد که می‌تواند ناشی از افزایش مقدار ریزدانه‌ها در خاک و مقاومت خاک ریزدانه در زهکشی نشتاب باشد. براساس نتایج به دست آمده افزایش چسبندگی در خاک‌های دانه‌ای یا بخش ریزدانه

خاک موجود یا به عبارتی افزایش سهم رس نسبت به سیلت در بخش ریزدانه‌ی خاک می‌تواند موجب کاهش نشت شود. همچنین ملاحظه گردید که در خاک‌های دارای ضریب هدایت هیدرولیکی بالاتر، مقدار نشت بیشتری اندازه‌گیری شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات میدانی مدیریت فشار نشان داده است که توان نشتی اغلب به‌طور قابل توجهی بالاتر از مقدار ۵/ است. محققین به شناسایی و تجزیه و تحلیل عواملی پرداختند که ممکن است مسئول توان‌های نشت بالاتر باشند. یک عامل مهم رفتار جنس لوله است رفتار مواد لوله می‌تواند بازه‌ی توان‌های نشت مشاهده شده در محیط را تغییر دهد. همچنین دما علاوه بر تغییر هیدرولیک جریان می‌تواند مدول الاستیسیته لوله را تغییر داده و ابعاد ترک تحت تاثیر آن قرار گیرد. پیچیدگی اندرکنش بین یک لوله نشتی و خاک اطراف آن مورد بحث قرار گرفته است و نتیجه‌گیری شد که رابطه‌ی بین فشار و نشت خطی نیست. با افزایش D_{50} خاک دبی نشت افزایش می‌یابد.

مطالعات بیشتری برای ارزیابی تاثیر پارامترهای دما بر روی خواص ویسکوالاستیک لوله‌های HDPE و تاثیر آن‌ها بر رفتار WDNs مورد نیاز است. در پژوهش‌های انجام شده تاثیر خاک‌های حل‌شونده چون آهک در خرابی لوله و نتیجتاً در دبی نشت بررسی نشده است. با توجه به این که سامانه‌های آبرسانی شهری ممکن است در این محیط‌ها قرار گیرند پیشنهاد می‌شود به این موضوع نیز پرداخته شود. درباره‌ی دبی نشت در اتصالات نیز نیاز به تحقیقات بیشتری است.

منابع

1. ج. تورنتون، ر. اشتورم و ج. کانکل، کنترل هدررفت آب در شبکه‌های توزیع، چاپ اول. تهران: انتشارات ناقوس، ۱۳۹۲.
2. J. E. Van Zyl and C. R. I. Clayton, "The effect of pressure on leakage in water distribution systems," Proc. Inst. Civ. Eng. Water Manag., vol. 160, no. 2, pp. 109-114, 2007, doi: 10.1680/wama.2007.160.2.109.
3. س. صدرالساداتی و م. جلیلی قاضی زاده، "مطالعه آزمایشگاهی نشت آب از ترک‌های طولی لوله‌های پلی اتیلن"، فصلنامه علوم محیطی، vol. ۱۶، no. زمستان، pp. ۲۲۹-۲۴۸، ۱۳۹۷.
4. M. FARLEY and S. TROW, Losses in Water Distribution Networks. London: IWA Publishing, 2003.
5. J. Thornton and A. Lambert, "Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships," in Proceedings of IWA Special Conference 'Leakage, 2005, pp. 12-14.
6. B. Greyvenstein and J. Van Zyl, "An experimental investigation into the pressure - Leakage relationship of some failed water pipes," J. Water Supply Res. Technol.-Aqua - J WATER SUPPLY RES TECHNOL-AQ, vol. 56, 2007, doi: 10.2166/aqua.2007.065.
7. A. Cassa, J. Van Zyl, and R. Laubscher, "A numerical investigation into the behaviour of leak openings in uPVC pipes under pressure," 2005.
8. C. Noack and B. Ulanicki, "Modelling of Soil Diffusibility on Leakage Characteristics of Buried Pipes," in 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium, OH, USA, 2006.
9. J. E. van Zyl, "Theoretical Modeling of Pressure and Leakage in Water Distribution Systems," Procedia Eng., vol. 89, pp. 273-277, 2014, doi: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.187.
10. T. Walski, W. Bezts, E. Posluszny, M. Weir, and B. Whitman, "Understanding the Hydraulics of Water Distribution System Leaks," 2004, pp. 476-485. doi: 10.1061/40737(2004)476.
۱۱. مهدوی، م. لطیفی و س. نابی، "بررسی آزمایشگاهی اثر پارامترهای خاک بر مقدار نشت آب از لوله‌های پلی اتیلن" در کنفرانس هیدرولیک ایران، ۱۳۹۴.
12. S. M. Pike, J. E. van Zyl, and C. R. I. Clayton, "Scouring Damage to Buried Pipes Caused by Leakage Jets: Experimental Study," J. Pipeline Syst. Eng. Pract., vol. 9, no. 4, p. 04018020, Nov. 2018, doi: 10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000328.



برداشت انرژی از سطح روسازی با استفاده از سیستم‌های پیزوالکتریک

مقدمه

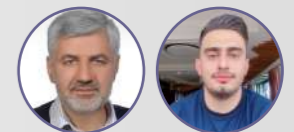
همه جوامع در تلاش هستند که از منابع انرژی سبز و تجدیدپذیر برای تولید انرژی استفاده کنند. برداشت انرژی می‌تواند انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید شده را کاهش دهد و منجر به کاهش آلودگی هوا شود [۱]. یکی از منابع اصلی انرژی استفاده نشده محیط، ارتعاشات و تنش‌های ناشی از حرکت وسایل نقلیه در جاده‌ها است [۲]. روسازی تحت بار کامیون‌های سنگین دچار تغییر شکل شده و در تابستان به دلیل تابش خورشید دمای بالایی را جذب می‌کند. بنابراین فرصت‌های زیادی برای جمع‌آوری انرژی جنبشی (ارتعاشات، انحرافات، و غیره) و انرژی محیطی (خورشیدی، گرما و غیره) از محیط جاده ایجاد می‌شود [۱].

در حال حاضر، دو گروه فناوری اصلی برای برداشت انرژی از روسازی استفاده می‌شوند: (الف) آن‌هایی که بر اساس تابش خورشیدی یا گرما هستند و (ب) آن‌هایی که مبتنی بر تبدیل انرژی جنبشی از ترافیک در حال حرکت به انرژی الکتریکی هستند. این دو گروه شامل فناوری‌هایی مانند ماژول‌های مبتنی بر پیزوالکتریک، روسازی‌های فتوولتائیک (پانل‌های خورشیدی نصب شده در روسازی)، سیستم‌های ترموالکتریک، سیستم‌های الکترومغناطیسی و کلکتورهای خورشیدی آسفالتی هستند. مواد پیزوالکتریک از تنش اعمالی ناشی از بار ترافیکی در روسازی‌ها برای تولید ماژول‌های مبتنی بر پیزوالکتریک برقی استفاده می‌کنند [۱، ۳ و ۴].

در این گزارش به کاربرد و نحوه کار قطعات پیزوالکتریک پرداخته شده است که شامل برداشت انرژی از روسازی، سیستم‌های برداشت انرژی و مزایا و معایب آن‌ها خواهد بود.

نویسندگان: حسین اعظمی^۱، امیر کاووسی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی ایمنی راه و ترابری، دانشگاه تربیت مدرس
۲- استاد گروه راه و ترابری، دانشکده عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس



طرح‌ها و انواع مبدل‌های پیزوالکتریک

برای کاربرد برداشت انرژی پیزوالکتریک در روسازی، چهار نوع متداول از مواد پیزوالکتریک استفاده شده است که شامل مبدل تیرهای کنسولی، مبدل‌های میله‌ای یا دیسک شکل، مبدل سنج/پل، لایه کامپوزیت PZT می‌شوند [۱ و ۲]. قطعات پیزوالکتریک به دلیل اعمال تنش‌های بارگذاری و ارتعاشات قادر به تولید ولتاژ الکتریکی هستند. پیزوالکتریک در صورتی فعال می‌شود که بار وارده با زمان نوسان کند. همان‌طور که مقدار بار با زمان تغییر می‌کند، پیزوالکتریک قطبی شده و دو بار سطحی مجزا را تشکیل می‌دهد. این بارها منبع ولتاژ الکتریکی هستند [۲].

یکی از منابع اصلی انرژی استفاده نشده محیط، ارتعاشات و تنش‌های ناشی از حرکت وسایل نقلیه در جاده‌ها است. با فرض اینکه یک کامیون ۱۸ چرخ با بار کامل با سرعت ۸۰ کیلومتر در ساعت حرکت می‌کند، میانگین جابه‌جایی دینامیکی در روسازی آسفالت زیر هر تیر حدود ۱ میلی‌متر است. می‌توان با بهره‌گیری از ابزارآلاتی همچون پیزوالکتریک‌ها که قطعات الکترونیکی هستند، این جابه‌جایی‌های دینامیکی به وجود آمده در سطح روسازی را به نیروی الکتریسیته تبدیل کرد [۲].

از نیروی برق به دست آمده از سطح روسازی می‌توان برای علائم راهنمایی و رانندگی، روشنایی آزادراه‌ها در شب و یا خدمات برق‌رسانی به مناطق دورافتاده و محروم بهره‌برد [۴ و ۵]. انرژی برداشت شده را می‌توان برای استفاده در آینده به وسیله ابر باتری‌ها و خازن‌ها ذخیره کرد [۱].

قرار دادن پیزوالکتریک‌ها در لایه روسازی به مراتب

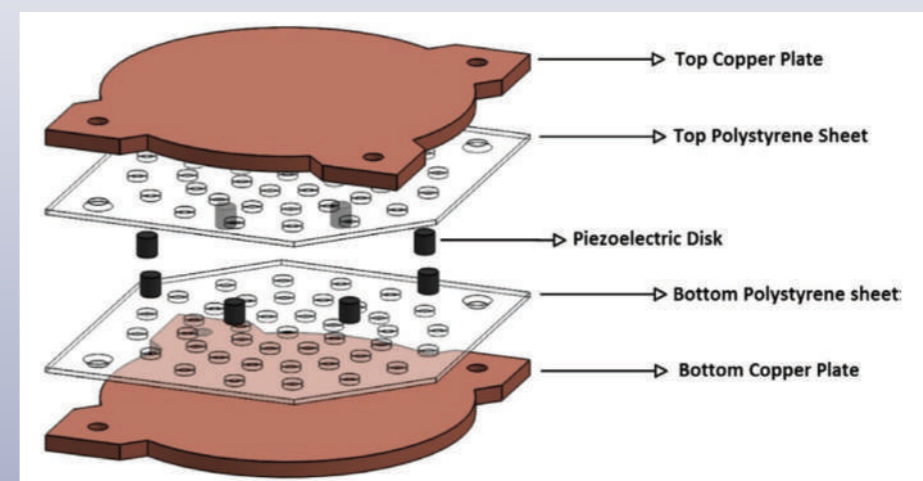
پرسودتر از قراردادن آن‌ها در سرعت‌گیرها است [۲]. همچنین تأثیر دما، تعداد بارگذاری، شدت بار و فرکانس بارگذاری بر برداشت انرژی از سطح روسازی هم بررسی می‌شود که حاصل آن است که دما کم‌ترین تأثیر را دارد [۱]. افزایش تعداد دیسک‌های پیزوالکتریک، توان خروجی نمونه اولیه را کاهش می‌دهد [۲]. عمر مفید پیزوالکتریک‌ها به سه عامل بارگذاری مکانیکی و خستگی مواد پیزوالکتریک و خستگی الکترودها بستگی دارد [۱].

از ورق‌های پلی‌استایرن برای ثابت نگه داشتن دیسک‌های پیزوالکتریک در مقابل لغزش و حرکات جانبی استفاده می‌شود. مواد پلی‌استایرن که رسانا هستند برای مقاومت در برابر تنش‌های افقی و حرکات جانبی محدود مقاوم بوده و از نظر مکانیکی انعطاف‌پذیر هستند [۲].

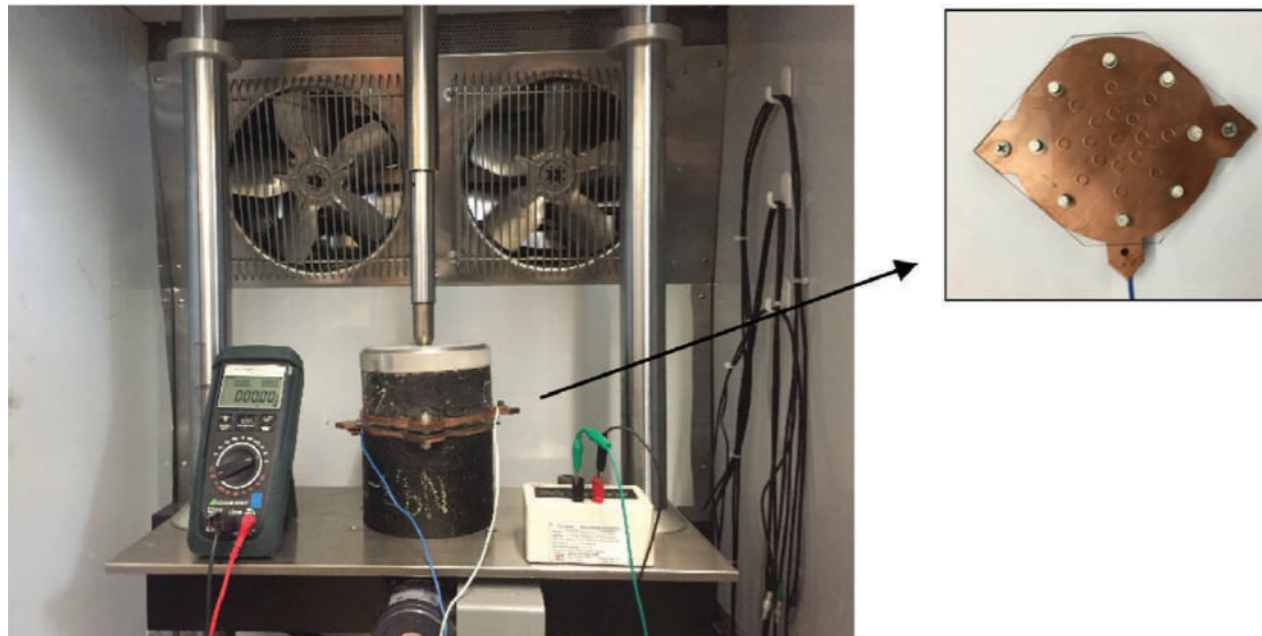
مواد پیزوالکتریک و اصل برداشت انرژی

کاربردهای پیزوالکتریک را می‌توان در دو حالت طبقه‌بندی کرد. حالت اول، اثر مستقیم پیزوالکتریک است که در آن مواد قادر به تبدیل کرنش مکانیکی به بار الکتریکی هستند. کاربردهای فعلی این اثر مستقیم پیزوالکتریک در قالب ساخت حسگرها و برداشت انرژی است.

حالت دوم، تأثیر معکوس مواد پیزوالکتریک است که در آن‌ها بار الکتریکی به کرنش مکانیکی تبدیل می‌شود. امروزه فناوری‌های مختلف از اثر پیزوالکتریک معکوس در تولید محرک‌ها بهره می‌برند [۱ و ۲].



شکل ۱- نمونه‌ای از یک قطعه پیزوالکتریک و اجزای آن



شکل ۲- پیزوالکتریک نصب شده روی نمونه در حال آزمایش

قرار دادن مبدل پیزوالکتریک در روسازی

طراحی هندسی مبدل پیزوالکتریک نه تنها قدرت خروجی و بازده تبدیل توان مبدل پیزوالکتریک را تعیین می‌کند، بلکه نحوه‌ی قرار دادن مبدل در روسازی را نشان می‌دهد [۱]. مبدل تیرکنسول معمولاً روی سطح روسازی نصب می‌شود در حالی‌که مبدل دیسکی/میله‌ای شکل و مبدل سنج/پل معمولاً در لایه روسازی تعبیه می‌شوند. کامپوزیت PZT را می‌توان به هر دو صورت، هم روی سطح روسازی و هم در لایه روسازی قرار داد [۱].

چالش‌های برداشت انرژی پیزوالکتریک در روسازی

طول عمر و دوام مبدل‌های پیزوالکتریک یکی از چالش‌های اصلی استفاده از آن‌ها است.

سه عامل بر عمر مفید پیزوالکتریک تأثیر می‌گذارد [۱]:

۱. بارگذاری مکانیکی؛

۲. خستگی مواد پیزوالکتریک؛

۳. خستگی الکترودها.

دیگر چالش‌ها:

۱. هزینه‌های نگهداری، تعمیر یا تعویض مبدل‌ها؛

۲. هزینه مقاوم‌سازی روسازی؛

۳. اثرات زیست‌محیطی مواد پیزوالکتریک مانند محتوای سمی سرب.

اگرچه PZT دیسکی/میله‌ای شکل دوام بالایی دارد، اما انرژی قابل برداشت از آن اندک است. انواع دیگر مانند سنج و مبدل پل انرژی خروجی بسیار بالاتری دارند، اما به دلیل کشش در معرض شکست خستگی هستند [۱].

توصیه‌ها و نتیجه‌گیری

از تجربیات اجرایی به کارگیری سیستم‌های پیزوالکتریک موارد زیر قابل توصیه و نتیجه‌گیری است:

۱. در مناطق دورافتاده که شبکه برق قابل اجرا نیست می‌توان از مبدل‌های پیزوالکتریک استفاده کرد [۲ و ۳].

۲. بهتر است نمونه اولیه برداشت‌کننده انرژی پیزوالکتریک در زیر لایه آسفالتی روسازی در حین اجرای آسفالت قرار داده شود.

۳. از نظر همواری سطح، بهره‌وری سوخت یا گازهای گلخانه‌ای این تجهیزات بر وسایل نقلیه در حال حرکت تأثیری نخواهند داشت.

۴. عمق ۵ سانتی‌متر برای نصب نمونه اولیه پیشنهاد شده است تا عملیات بازسازی آسفالت شامل فرزکاری و پوشش‌دهی امکان‌پذیر باشد. در این عمق، تنش‌های ناشی از بارهای ترافیکی حدود ۹۰ درصد حداکثر حد مجاز آن در سطح روسازی است.

۵. مرکز نمونه اولیه باید در حدود ۴۵ تا ۶۰ سانتی‌متر از لبه خط ترافیک (معمولاً در امتداد مسیرهای چرخ) قرار گیرد. در این حالت پیشنهاد می‌شود که توان تولید شده به وسیله سیم‌های الکتریکی تعبیه شده در زیر لایه‌ی روسازی آسفالت به سمت لبه منتقل شود تا با ابرخازن برای ذخیره‌سازی متصل شود.

۶. برای حفظ دوام روسازی در برابر ترک‌های انعکاسی، سفتی کلی نمونه اولیه باید مشابه سختی مصالح اطراف آن باشد [۲].

۷. مبدل‌های پیزوالکتریک می‌توانند برای برداشت اطلاعات ترافیکی نیز استفاده شوند (شامل حجم ترافیک، سرعت، و وزن محور).

با پیشرفت خودروهای الکتریکی و فناوری خودروهای خودران، برداشت انرژی از روسازی، جاده را به مولد انرژی توزیع شده برای وسایل ترافیکی تبدیل می‌کند و می‌توان از انرژی برداشت شده در آینده برای شارژ خودروهای الکتریکی استفاده کرد [۲ و ۳].

منابع

1. Hao Wang and Abbas Jasim. Piezoelectric energy harvesting from pavement. Transportation Research Record 2019: 1-10.
2. Hossein Roshani, Samer Dessouky, Arturo Montoya, A.T. Papagiannakis. Energy harvesting from asphalt pavement roadways vehicle-induced stresses: A feasibility study. Applied Energy 182 (2016) 210-218
3. Mohammadreza Gholikhania*, Reza Nasouria, Seyed Amid Tahamia, Sarah Legetteb, Samer Dessoukya, Arturo Montoya. Harvesting kinetic energy from roadway pavement through an electromagnetic speed bump. Applied Energy 250 (2019) 503-511
4. Mohammadreza Gholikhani1*, Seyed Amid Tahami, and Samer Dessouky. Harvesting Energy from Pavement – Electromagnetic Approach. MATEC Web of Conferences 271, 06001 (2019)
5. Wei Jiang*, Dongdong Yuan, Shudong Xua, Huitao Hua, Jingjing Xiao, Aimin Sha, Yue Huang. Energy harvesting from asphalt pavement using thermoelectric technology

سیستم‌های کنترل سازه

مقدمه

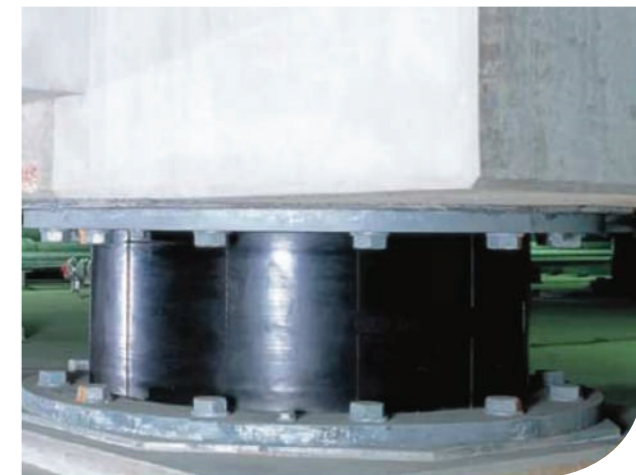
برای کشورمان ایران که در منطقه‌ای با لرزه‌خیزی شدید قرار گرفته است استفاده از دانش روز مهندسی سازه و زلزله در طراحی سازه‌ها، به‌ویژه سازه‌های با اهمیت، ضروری است. بنابراین توجه به سیستم‌های نوین نظیر سیستم‌های کنترلی که منجر به ارتقای سطح عملکردی سازه‌ها می‌شود بیش از پیش احساس می‌گردد. سیستم‌های کنترل سازه از نقطه نظر عملکردی شامل سیستم‌های کنترل فعال، نیمه فعال، غیرفعال و هیبریدی است. کاربرد این سیستم‌ها در دهه‌های اخیر رشد چشمگیری داشته و آشنایی با این سیستم‌ها، نیاز روز دنیای مهندسی سازه و زلزله است.

نویسنده: مریم حمزه‌پور

دانشجوی کارشناسی ارشد زلزله، دانشگاه تربیت مدرس



چرا سیستم‌های کنترل سازه؟



عملکرد مطلوب یک سازه در هنگام زلزله، براساس توانایی سیستم باربر لرزه‌ای در جذب انرژی و استهلاک آن است. اگر استهلاک انرژی در اعضای رخ دهد که باربر ثقیلی نیز باشد، تعویض آن‌ها قابل انجام نیست؛ در صورتی‌که پس از زلزله مفصل‌های پلاستیک در آن‌ها تشکیل شده و بعد از زلزله کارایی قبل را نخواهند داشت. این فلسفه طراحی حتی الامکان از فروریزش سازه جلوگیری کرده و ایمنی جانی را نیز تا حدودی فراهم می‌کند. اگر زلزله شدیدتری رخ دهد که منجر به ایجاد شرایطی شود که این روش طراحی به سختی پاسخگو باشد چه باید کرد و در این صورت راهکار ما در طراحی سازه برای چنین شرایطی چه خواهد بود. یک نمونه از سازه‌های بسیار مهم بیمارستان‌ها هستند که انتظار عملکرد بی‌وقفه پس از زلزله برای آن‌ها وجود دارد، بنابراین طراحی این‌گونه سازه‌ها باید به شکلی باشد که خسارت ناشی از غیرخطی شدن اعضای سازه‌ای در آن‌ها به حداقل برسد. در صورتی‌که همچنان بخواهیم از روش متداول طراحی استفاده کنیم منجر به طراحی سازه‌ای با اعضای سازه‌ای قطورتر و در نتیجه غیراقتصادی می‌شود. ضمن اینکه برای سازه‌های با اهمیت بالا که از آن‌ها سطح عملکرد بی‌وقفه پس از زلزله انتظار می‌رود بحث حفاظت سیستم‌های ثانویه و دستگاه‌های حساس نیز مطرح است که طراحی متداول سازه‌ها پاسخگوی این نیاز است. بنابراین باید از روشی استفاده کرد که نواقص یاد شده برای روش طراحی متداول را رفع کند که پیشنهاد این روزهای دنیای مهندسی استفاده از روش‌های طراحی است که در آن از سیستم‌های کنترلی در برابر زلزله استفاده می‌شود.



در هنگام وقوع زلزله مقدار معینی انرژی به سازه وارد می‌شود که میزان این انرژی ورودی به مشخصات دینامیکی سازه نظیر جرم و سختی سازه، مشخصات ژئولرزه‌ای محل قرارگیری سازه و پارامترهای زلزله مانند محتوای فرکانسی، بزرگا

و مدت زمان زلزله بستگی دارد. انرژی زلزله پس از ورود به سازه به بخش‌های مختلفی تبدیل می‌شود. شکل (۱) این تبدیل انرژی را به صورت نمودار نشان می‌دهد [۱].



شکل ۱- نمودار تبدیل انرژی زلزله وارد شده به سازه

بنابراین براساس قانون پایستگی انرژی، هر چه انرژی تلف شده توسط میراگرها و وسایل جاذب انرژی بیشتر باشد به تبع آن از انرژی جنبشی و کرنشی سیستم کاسته می‌شود. نمود انرژی جنبشی و کرنشی یک سیستم همان پاسخ‌های سازه‌ای نظیر جابه‌جایی، سرعت و شتاب هستند. از طرفی در یک سطح لرزه‌ای مشخص، انرژی تلف شده هیسترتیک ناشی از غیرخطی شدن اعضا نظیر ایجاد مفصل پلاستیک در تیرها، ستون‌ها و یا مهاربندها نیز کاهش می‌یابد. به این معنی که با بکارگیری وسایل مستهلک‌کننده انرژی می‌توان آسیب اعضای اصلی سازه را کاهش داد یا به صفر نزدیک کرد و سازه‌ای با پاسخ لرزه‌ای کمتر و سطح عملکردی بالاتر طراحی کرد [۱].

انواع سیستم‌های کنترل سازه

تئوری کنترل سازه‌ها توسط محققان ژاپنی بیان شد. این محققان به این نتیجه رسیده بودند، تا زمانی که مشخصات ارتعاشی زلزله قابل پیش‌بینی

نباشد، پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها باید کنترل شود [۲]. سیستم‌های کنترلی برای بهبود عملکرد سازه‌ها در مقابل بارهای جانبی به کار برده می‌شوند. این سیستم‌ها می‌توانند با کنترل انرژی‌های منتقل شده به سازه موجب کاهش آسیب‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای شوند و از این طریق ایمنی سازه را تأمین کنند.

سیستم‌های کنترل سازه را از نقطه نظر عملکردی می‌توان به صورت زیر تقسیم‌بندی نمود:

- ♦ سیستم‌های کنترل فعال؛
- ♦ سیستم‌های کنترل غیرفعال؛
- ♦ سیستم‌های کنترل نیمه فعال؛
- ♦ سیستم‌های کنترل هیبریدی.

سیستم‌های کنترل فعال (Active)

♦ یک سیستم کنترل فعال، سیستمی است که در آن یک منبع خارجی به یک یا چند محرک سیستم کنترل، انرژی می‌دهد و این محرک‌ها نیروهایی را به سازه وارد می‌سازند. این نیروها

ممکن است جهت اضافه یا مستهلک نمودن انرژی سازه بکار روند [۳].

♦ سیستم‌های فعال از غیرفعال موثرتر هستند، اما علی‌رغم عملکرد عالی، مشکل بزرگ هزینه‌های اجرایی و نگهداری را دارند.

♦ از آنجایی که سیستم‌های کنترل فعال جهت عملکرد به یک منبع انرژی خارجی نیاز دارند، لذا لازم است که این منبع انرژی در زمان وقوع رویدادهای شدید بدون تغییر و آسیب باقی بماند تا یکپارچگی سازه و عملکرد آن تحت الشعاع قرار نگیرد. در کنار این مسئله

احتمال این که سیستم‌های کنترل فعال با اعمال نیروی مکانیکی اضافی به سازه منجر به ناپایداری آن شوند، نیز وجود دارد. بنابراین از سیستم‌های کنترل فعال اصولاً به عنوان مکمل برای سیستم‌های کنترل غیرفعال در سازه‌های مهندسی استفاده می‌شود. به عنوان نمونه‌ای از کاربرد این کنترل‌ها می‌توان به نقش میراگرهای جرم فعال در کاهش ارتعاشات ساختمان در بادهای پر قدرت و زلزله‌های متوسط و در نتیجه افزایش آسایش و راحتی ساکنین ساختمان‌ها اشاره نمود [۳].



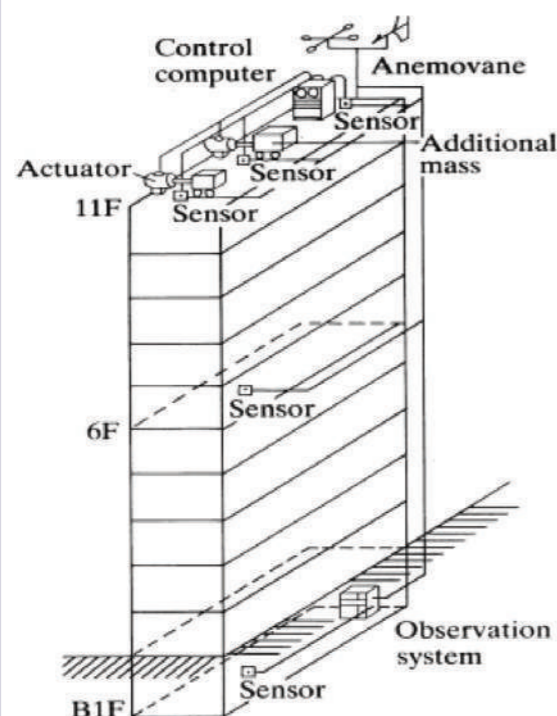
شکل ۲- برج مراقبت ۶۷/۵ متری فرودگاه واشنگتن و ساختمان فلزی مرتفع ۲۴۴ متری هنگوک در شهر بستون آمریکا [۴]

مطابق شکل (۲) از کاربردهای نصب این سیستم کنترل فعال در برج ۲۴۴ متری هنگوک شهر بستون بوده است که اولین نمونه‌های واقعی نصب سیستم‌های کنترلی TMD (جرم تحریک شده فعال) بوده‌اند. در این سازه برای مقابله با اثر حرکات پیچشی سازه، از دو سیستم جرم متحرک تنظیم شونده در تراز طبقه ۵۸ ام سازه در دو انتهای پلان استفاده شده است. هر واحد این سیستم دو گانه دارای ابعاد ۵/۲×۵/۲×۱ متر به صورت جعبه‌های فولادی پر شده با سرب بوده و هر کدام ۳۰۰ تن وزن دارند که بر روی قاب کف

تقویت شده طبقات با جاذب‌های ضربه‌ای نصب شده‌اند. این سیستم‌ها با گذر از مرز شتاب سازه از حد 3 mili.g.sec فعال شده و قادرند که پاسخ ارتعاشی سازه را تا ۵۰ درصد کاهش دهند [۴].

همچنین ساختمان کیوباشی سیوا، اولین اجرای کامل فناوری کنترل فعال، یک ساختمان ۱۱ طبقه با مساحت کل ۴۲۳ متر مربع است. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، سیستم کنترل از دو AMD تشکیل شده است که AMD اولیه برای حرکت عرضی استفاده می‌شود و وزن آن

۴ تن است، در حالی که AMD ثانویه دارای وزن ۱ تن است و برای کاهش حرکت پیچشی به کار می‌رود. نقش سیستم فعال، کاهش ارتعاش ساختمان تحت بادهای شدید و تحریکات متوسط زلزله و در نتیجه افزایش راحتی ساکنین در ساختمان است [۵].



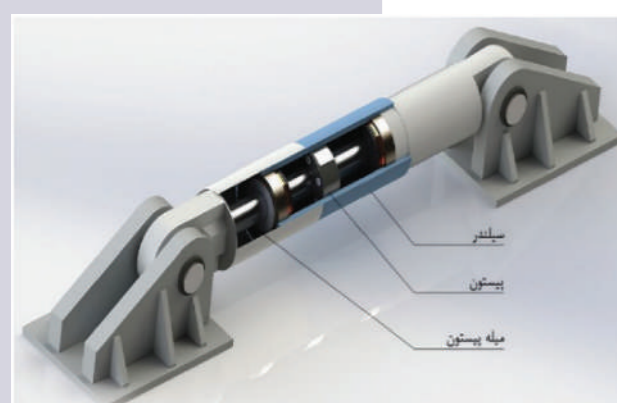
شکل ۳- ساختمان کیوباشی سیوا و AMD [۵]

سیستم کنترل غیرفعال (Passive Control Systems)

اجرا و نگهداری در سازه‌های مهندسی بسیار شایع است [۳]. به عنوان نمونه‌ای از این سیستم‌های کنترل می‌توان به تکنیک‌های جداگرها و میراگرها، که نمونه‌ای از آن‌ها در شکل (۴) و (۵) آورده شده است، اشاره کرد.

در این‌گونه سیستم‌ها، عامل کنترل‌کننده ارتعاش، در محل مناسبی از سازه قرار می‌گیرد و تا پیش از تحریک سازه غیرفعال باقی می‌ماند. با شروع تحریک سازه، سیستم فعال شده و عملکرد کنترلی خود (اعم از تغییر سختی، پیروید، میرایی یا جرم) را در حین تحریک انجام می‌دهد و پس از خاتمه تحریک، دوباره به حالت غیرفعال باز می‌گردد که به دلیل جذب بخشی از انرژی ورودی به سازه، احتمالاً شاهد خرابی جزئی یا کلی در آن خواهیم بود. این سیستم‌ها مجهز به وسایلی هستند که مشخصات سازه‌ای مثل شکل‌پذیری، مقاومت و غیره را اصلاح می‌کنند و یا انرژی را مستهلک می‌کنند. بنابراین طی این عمل، ارتعاشات سازه کنترل می‌شود [۳].

یک سیستم کنترل غیرفعال بدون نیاز به منبع انرژی خارجی و از نیرویی که در پاسخ به حرکت سازه در آن ایجاد می‌شود استفاده می‌کند. قابل ذکر است که استفاده از سیستم‌های کنترل غیرفعال به دلیل سادگی نصب و کم بودن هزینه‌های



شکل ۴. میراگر ویسکوز

اندازه‌گیری شده از پاسخ سازه تنظیم می‌شوند. در یک طرح کنترل نیمه فعال، یک سامانه کنترلگر (یک رایانه) به اندازه‌گیری بازخوردها می‌پردازد و بر اساس الگوریتم کنترل از پیش تعیین شده، سیگنالی مناسب جهت عملکرد دستگاه‌های نیمه فعال ارسال می‌کند. نیروهای کنترل در نتیجه حرکت خود سازه و تنظیم مناسب خصوصیات مکانیکی سیستم کنترل نیمه فعال تولید می‌شوند. علاوه بر این، با توجه به این که نیروهای کنترل در اغلب سیستم‌های کنترل نیمه فعال در خلاف جهت حرکت سازه عمل می‌کنند، بنابراین باعث پایداری کلی سازه می‌شوند [۳].

اگرچه تأثیر سیستم‌های کنترل نیمه فعال از سیستم‌های فعال کمتر است اما هزینه بسیار پایین تأمین و نگهداری این سیستم‌ها، تعبیه آن‌ها را بسیار قابل توجه کرده است [۳].

دستگاه‌های کنترل نیمه فعال هیچ انرژی مکانیکی به سازه وارد نمی‌سازند و همچنین به انرژی بسیار اندکی (غالباً در حد چند باتری کوچک) جهت راه اندازی و تغییر سیستم‌های مکانیکی مربوط به کنترل رفتار دستگاه (مثلاً یک شیر کنترل الکتریکی) نیاز دارند. علاوه بر این نیروی کنترل تولید شده توسط یک دستگاه نیمه فعال همیشه به سرعت نسبی و تغییر مکان دستگاه بستگی دارد [۳].

انواع سیستم‌های کنترل نیمه فعال سازه [۳]:

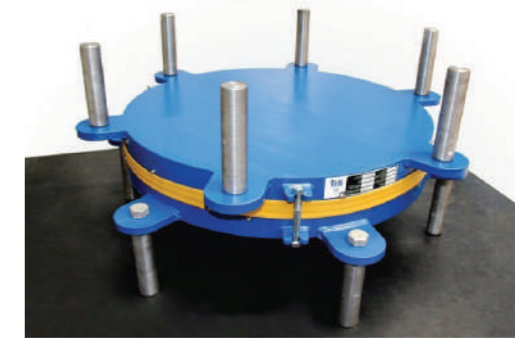
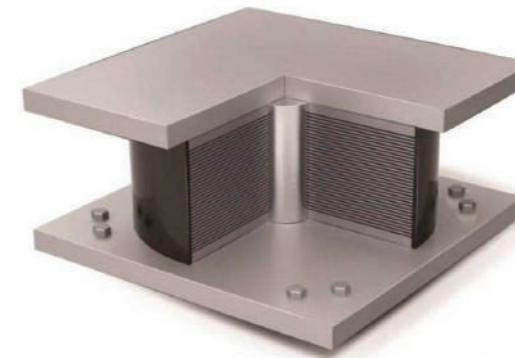
- ♦ میراگرهای با سیال کنترل شونده توسط میدان مغناطیسی؛
- ♦ میراگرهای سختی نیمه فعال؛
- ♦ میراگرهای پیزوالکتریک؛
- ♦ میراگرهای ستون مایع تنظیم شونده نیمه فعال؛
- ♦ میراگر جرمی تنظیم شونده نیمه فعال.



شکل ۸- تالار شهر لس آنجلس (دارای جداسازی پایه) [۶]

سیستم‌های کنترل نیمه فعال (Semi-Active)

سیستم‌های کنترل نیمه فعال، دسته‌ای از سیستم‌های کنترل سازه هستند که در آن‌ها از انرژی خارجی جهت تغییر خصوصیات مکانیکی دستگاه استفاده می‌شود. سیستم‌های کنترل نیمه فعال در اصل سیستم‌های کنترل غیرفعال هستند که قادر به تغییر و تنظیم خصوصیات مکانیکی سیستم هستند و به همین دلیل اغلب به این سیستم‌های کنترل، اصطلاح دستگاه‌های غیرفعال قابل کنترل (Controllable Passive Devices) اطلاق می‌شود. خصوصیات مکانیکی این سیستم‌ها بر اساس بازخوردهای



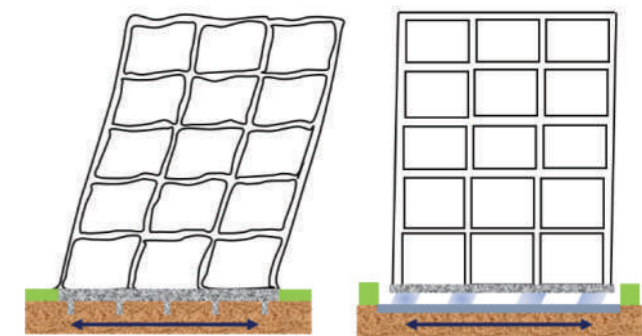
شکل ۵- سمت چپ: جداساز لرزه‌ای هسته سربی (نمونه‌ای از جداسازهای الاستومری). سمت راست: جداساز لرزه‌ای پاندول اصطکاکی (نمونه‌ای از جداسازهای اصطکاکی)

این، در هنگام زلزله، شاید نتوان این نیرو را تأمین کرد. همچنین هزینه‌های بالای تعمیر و نگهداری باعث شده که این سیستم هم چندان کاربردی نباشد. به خاطر همین مشکلات دو سیستم کنترل نیمه فعال سازه و ترکیبی سازه مطرح شدند [۳].

چندین ساختمان در حال حاضر در سراسر جهان جداسازی شده‌اند و بزرگ‌ترین نمونه‌ها، ساختمان کنگره ایالت یوتا و تالار شهر لس آنجلس هستند (شکل‌های ۷ و ۸) [۶].



(الف)



شکل ۶- سمت چپ: جابه‌جایی در سازه بدون جداساز. سمت راست: جابه‌جایی سازه دارای جداساز

مزایا و معایب کنترل غیرفعال سازه [۳]:

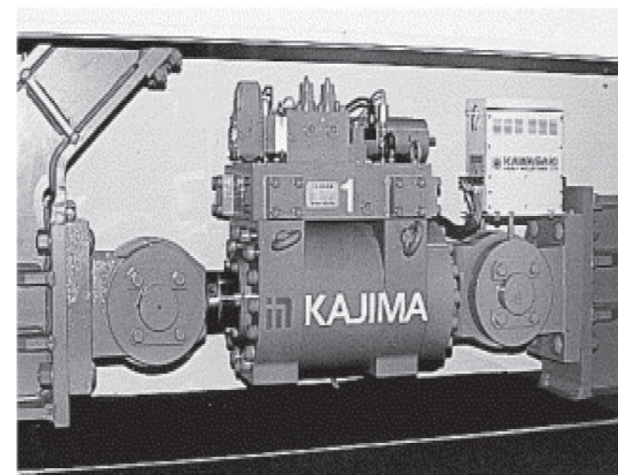
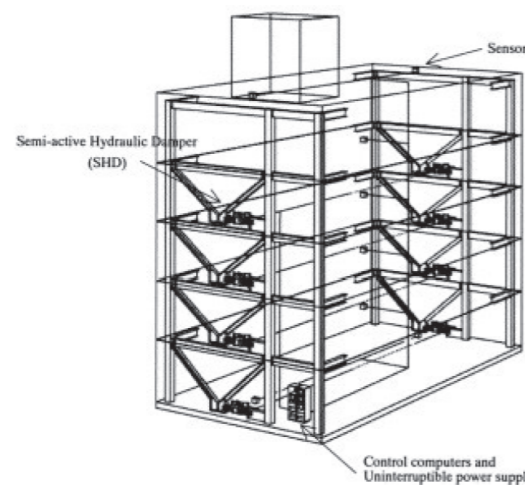
- ♦ سادگی طراحی نسبت به سایر سیستم‌های کنترل سازه؛
- ♦ عدم نیاز به انرژی خارجی مثل برق؛
- ♦ هزینه پایین تعمیر و نگهداری؛
- ♦ وابسته بودن به تحریک خارجی؛
- ♦ عدم تطبیق با شرایط محیطی.

کنترل غیرفعال سازه مشکلاتی نظیر وابستگی به محتوای فرکانسی نیروی خارجی اعمالی و شرایط محیطی را دارد و کنترل فعال سازه هم با وجود موثر بودن مشکلاتی نظیر نیاز داشتن به نیروی خارجی زیاد مانند برق دارد. علاوه بر



(ب)

شکل ۷- (الف) جداسازی پایه با جداسازهای الاستومری (ب) ساختمان کنگره ایالت یوتا [۶]



شکل ۹- ساختمان کاجیما شیزوکا و میراگر هیدرولیک نیمه فعال [۵]

HMD معمولی بسیار کمتر از انرژی و نیروهای مرتبط با یک سیستم دمپر جرمی کاملاً فعال با عملکرد قابل مقایسه است [۵].

نمونه‌ای از چنین کاربردهایی سیستم HMD است که در ساختمان Sendagaya INTES در توکیو در سال ۱۹۹۱ نصب شده است. همان‌طور که در شکل (۱۱) نشان داده شده است، HMD در بالای طبقه یازدهم نصب شده است و از دو جرم برای کنترل حرکات عرضی و پیچشی سازه تشکیل شده است [۵].

دمپر جرمی هیبریدی (HMD) رایج‌ترین دستگاه کنترلی است که در کاربردهای مهندسی عمران در مقیاس کامل استفاده می‌شود. HMD ترکیبی از یک دمپر جرمی تنظیم شده غیرفعال (TMD) و یک محرک کنترل فعال است. توانایی این دستگاه در کاهش پاسخ‌های ساختاری عمدتاً بر حرکت طبیعی TMD متکی است. نیروهای حاصل از محرک کنترل، برای افزایش کارایی HMD و افزایش استحکام آن در برابر تغییرات در خصوصیات دینامیکی سازه استفاده می‌شود. انرژی و نیروهای مورد نیاز برای به کار انداختن یک

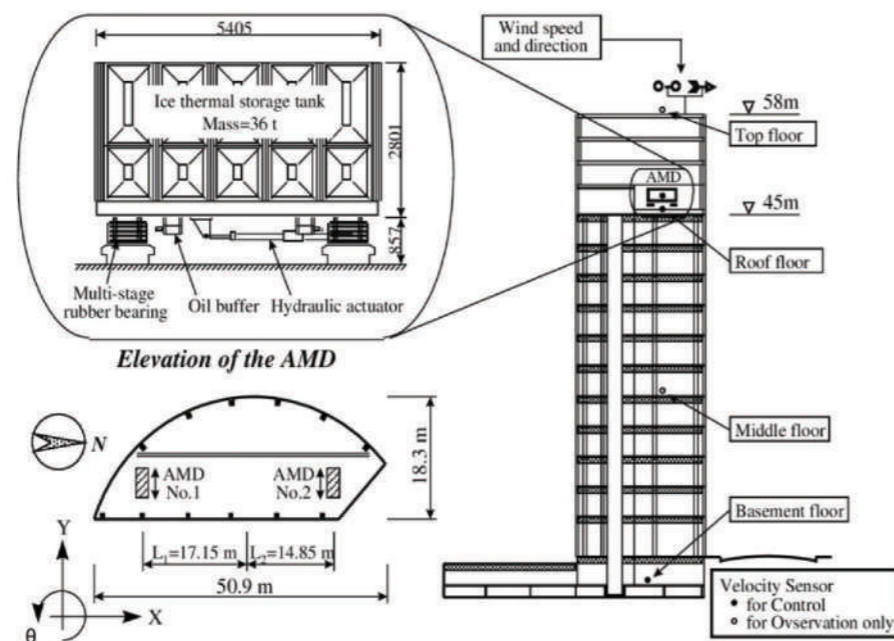
است. بنابراین می‌توان گفت که سیستم‌های کنترل هیبریدی در واقع باعث کاهش برخی از محدودیت‌های موجود در هریک از سیستم‌های کنترل اصلی می‌شوند. در نتیجه این سیستم‌ها از سطح عملکرد بالاتری برخوردارند. علاوه بر این در صورتی که بعضاً منبع انرژی با مشکل مواجه شود، مؤلفه غیرفعال کنترل ترکیبی همچنان به وظیفه خود عمل کرده و به حفاظت از سازه می‌پردازد [۳].

یکی از بارزترین کاربردهای سیستم جرم-میراگر هیبریدی، مطابق شکل (۱۰)، نصب آن بر سازه دوگانه فلزی-بتنی برج ۷۰ طبقه لندمارک در شهر یوکوهاما ژاپن می‌باشد. یک سیستم میراگر فعال تنظیم شونده بر پنت هاوس اولین طبقه (در ارتفاع ۲۸۲ متری)، که شامل ۲ قسمت، هرکدام متشکل از پاندول‌های فعال سه قطعه‌ای با قابلیت فعال سازی در دو جهت متعامد توسط فنرها و سرو موتورهای AC می‌باشد. پاندول چندین مرحله‌ای زیر دارای پریود ۶ ثانیه بوده و قابلیت تغییر منظم پریود ارتعاشات اصلی سازه را تا حد ۴/۳ ثانیه با تنظیم طول مؤثر بازوهای پاندول‌ها دارا می‌باشد. هر قطعه از این سیستم به ابعاد ۹×۹×۵ متر با وزن ۲۵۰ تن بوده که وزن قطعات پاندول‌های آن به تنهایی ۱۷۰ تن خواهد بود. جرم متحرک الحاقی در مرکز سازه سه قطعه‌ای متصل به جک‌ها توسط المان‌های کابلی به سه طرف قاب مهاربندی شده مرتبط و لرزانده می‌شود. میراگرهای روغنی با ضرایب میرایی متغیر جهت تضمین پایداری و ایمنی سیستم لرزان مرکزی ما بین هر قاب و پاندول‌ها نصب شده‌اند. ضریب میرایی این سیستم ترکیباتی در شرایط قطع عملکرد سیستم حدود ۳۰۰۰ N.sec/cm و در شرایط عملکرد کنترلی آن حدود ۳۰۰ N.sec/cm است. این مقدار ذخیره میرایی در این سیستم مطابق با مقادیر بهینه ضریب میرایی برای جرم-میراگر تنظیم شده غیرفعال خواهد بود [۵].

در شکل (۹)، نمونه میراگرهای هیدرولیکی نیمه فعال با تعداد متوازن و متقارن هشت‌تایی میان اتصال مهاربندی شورون خارج از مرکز و قاب نیمه صلب سازه پنج طبقه کاجیما-شیزوکا، نصب شده است. این سیستم کنترلی نیمه فعال با ظرفیت نیروی بیشینه محرک‌ها برابر ۴۸ تن، توسط سیستم حلقه بسته کنترلی متشکل از ده حسگر اندازه‌گیری شتاب طبقات با حساسیت $g/volt = 9/8/10$ که به‌طور موازی بر کف‌های صلب طبقات نصب شده‌اند، توسط رایانه مرکزی طبقه همکف و سیستم قدرت تغذیه مدار هوشمند شبکه کنترلی، راه اندازی می‌شود. آزمایش‌های کنترل دقیق و پایش درجات آزادی فعال این سازه تحت تحریکات لرزه‌ای ثبت شده در محل و نیز ثبت بارگذاری باد با شدت نیمه زیاد، با توجه به صلیبیت نسبی زیاد آن و عدم وجود ضریب رفتار بالا، مؤید کاهش بسیار مطلوب دامنه تغییر مکان‌ها و شتاب طبقات و عملکرد مناسب این سیستم کنترلی در این سازه بوده است [۵].

سیستم‌های کنترل هیبرید یا مختلط (Hybrid)

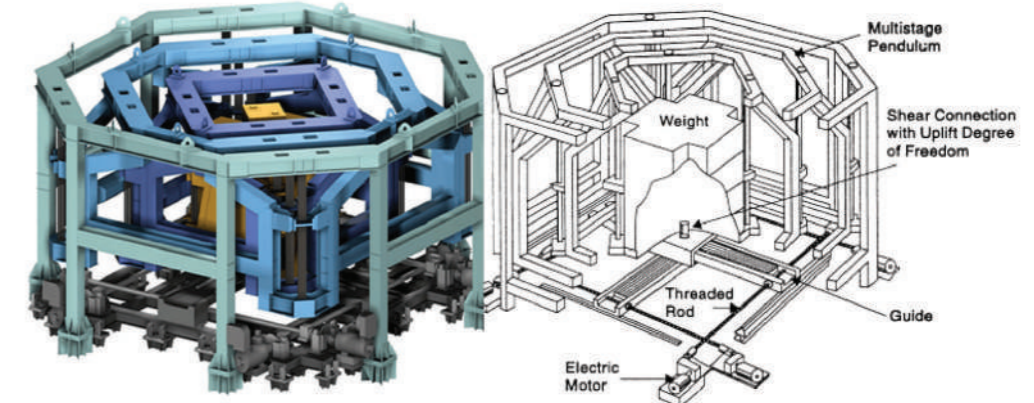
این سیستم ترکیبی از سیستم‌های کنترل فعال و غیرفعال است، در یک سیستم کنترل ترکیبی، ممکن است از یک سیستم کنترل فعال به عنوان مکمل و بهبود بخش کارایی سیستم کنترل غیرفعال یا برعکس از یک سیستم کنترل غیرفعال جهت کاهش انرژی مورد نیاز در یک سیستم کنترل فعال استفاده شود. به عنوان مثال می‌توان به ساختمانی اشاره کرد که با یک سری میراگرهای ویسکوالاستیک (Viscoelastic dampers) توزیع شده و یک میراگر جرم فعال که در طبقه بالای آن قرار دارد، تجهیز شده است. باید توجه شود که تنها تفاوت اصلی بین کنترل فعال و ترکیبی در اغلب موارد، میزان انرژی خارجی مورد نیاز سیستم



شکل ۱۱. ساختمان Sendagaya INTES و HMD [۵]

منابع

- سپهری، ا. (۱۳۹۵) تحلیل و طراحی میراگرها و جداگرهای لرزه‌ای براساس ASCE7 در SAP2000، OpenSees و تهران: علم عمران
- Kobori, T. and Minai, R, Analytical study on active seismic response control. Transactions, Architectural Institute of Japan, 1960. 66: p. 257-260.
- عمران سافت (۱۲ آوریل ۲۰۱۷). آموزش، سیستم‌های سازه‌ای. <https://b2n.ir/e39797>
- Preumont, A. and K. Seto, Active control of structures. 2008: John Wiley & Sons.
- Soong, T. and B. Spencer, Active, semi-active and hybrid control of structures. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 2000. 33(3): p. 387-402.
- El Ouni, M.H., et al., Review of Vibration Control Strategies of High-Rise Buildings. Sensors, 2022. 22(21): p. 8581.



شکل ۱۰. برج لندمارک یوکوهاما و HMD [۵]

بررسی نقش ارزیابی چرخه حیات (LCA) در صنعت ساختمان سازی (مطالعه مروری)

خلاصه

بررسی‌های مختلف نشان داده مواد و مصالح ساختمانی زیست‌محیط را به مخاطره جدی انداخته است هدف از این تحقیق ارزیابی تحقیقات پیشین در سال‌های گذشته است تا نقش LCA در صنعت ساختمان سازی مورد بررسی قرار گیرد. برای جمع‌آوری اطلاعات، تحقیقات صورت گرفته در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۳ در سایت‌های خارجی و ده سال اخیر در سایت‌های داخلی تحقیقات مرتبط با موضوع مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد میزان انرژی مصرفی و انتشار دیاکسیدکربن به ازای هر متر مکعب بتن پیش ساخته برابر است با $(5152/1 \text{ MJ/m}^3)$ و $(650/8 \text{ Kg/m}^3)$ ، همچنین در برخی شاخص‌ها فولاد می‌تواند آلودگی بیشتری ایجاد کند، اما ساختمان چوبی به نسبت مصالح دیگر تأثیر کمتری بر محیط زیست داشت. LCA ابزار ارزشمندی برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و پایداری پروژه‌های عمرانی است. این صنعت می‌تواند گام‌های مهمی در پروژه‌های عمرانی که از نظر زیست محیطی پایدار هستند، بردارد.

کلمات کلیدی: ارزیابی چرخه حیات، محیط زیست، پایداری، ساختمان سازی، LCA.

نویسندگان: سبhan حیدریان^۱، قربانعلی دزواره^۲

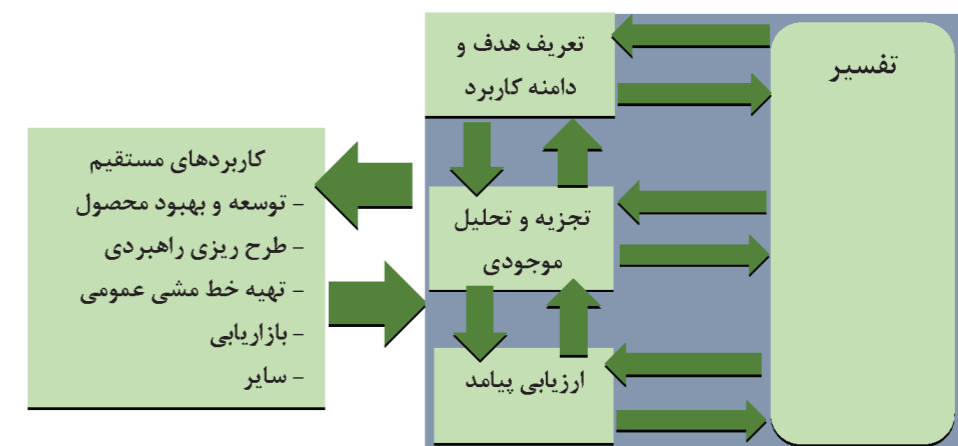
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-مدیریت ساخت، دانشگاه مهربرز، تهران، ایران
۲- دکتری مهندسی عمران- محیط زیست، محقق پژوهشگده محیط زیست مدرس (MERI)، استادیار دانشگاه مهربرز، تهران، ایران



مقدمه

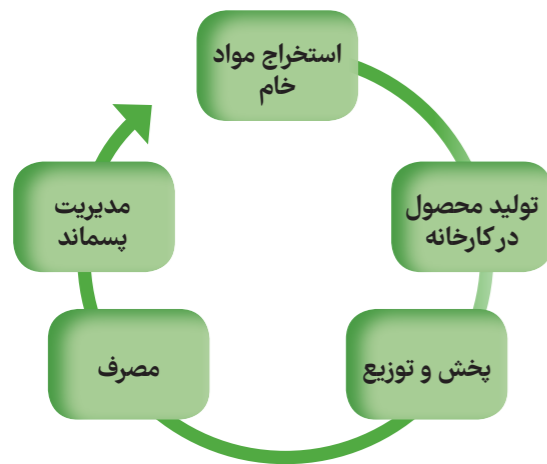
ارزیابی چرخه عمر (LCA) یک رویکرد جامع و سیستماتیک است که می‌تواند برای ارزیابی اثرات زیست محیطی یک محصول یا فرآیند در کل چرخه عمر آن استفاده شود [۱]. در صنعت ساخت و ساز و مهندسی عمران، LCA ابزار مهمی است که می‌تواند برای ارزیابی عملکرد زیست محیطی یک ساختمان یا پروژه زیرساختی از گهواره تا گور، از جمله استخراج مواد خام، حمل و نقل، ساخت و ساز، استفاده و مراحل پایان حیات مورد استفاده قرار گیرد. اثرات زیست محیطی فعالیت‌های ساخت و ساز و مهندسی عمران قابل توجه است و اغلب شامل کاهش منابع، آلودگی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و تخریب محیط زیست می‌شود [۲]. با انجام LCA، می‌توان راههایی را برای کاهش این تأثیرات شناسایی کرد و در مورد مواد و فرآیندهای مورد استفاده در پروژه‌های ساختمانی و مهندسی عمران می‌توان تصمیمات آگاهانه‌تری گرفت. یکی از مزایای کلیدی LCA این است که کل چرخه عمر یک محصول یا فرآیند را در نظر می‌گیرد، نه فقط یک فاز را. این امکان ارزیابی دقیق‌تر و جامع‌تر اثرات زیست محیطی را فراهم می‌آورد و می‌تواند به شناسایی مناطقی که می‌توان در آن‌ها بهبودی انجام داد کمک کرد [۳]. ساختمانی که به گونه‌ای طراحی شده است که از نظر انرژی کارآمدتر باشد، اثرات زیست محیطی کمتری در کل چرخه عمر خود، از ساخت و ساز تا تخریب خواهد داشت [۴]. چندین استاندارد و دستورالعمل برای اجرای LCA وجود دارد، از جمله ISO 14044، ISO 14040 و سیستم بین‌المللی EPD. اینها یک چارچوب ساختاریافته برای انجام

LCA و گزارش نتایج ارائه می‌کنند [۵]. فرآیند LCA معمولاً شامل: تعریف هدف و محدوده، تجزیه و تحلیل موجودی، ارزیابی تأثیر و تفسیر است. در مرحله تعریف هدف و محدوده، هدف LCA ایجاد می‌شود، مرزهای مطالعه مشخص می‌شود و واحد عملکردی تعیین می‌شود [۶]. واحد عملکردی معیاری از عملکرد محصول یا فرآیند مورد ارزیابی است و برای مقایسه جایگزین‌های مختلف استفاده می‌شود [۷]. مرحله تجزیه و تحلیل موجودی شامل جمع‌آوری داده‌ها در مورد ورودی‌ها و خروجی‌های مرتبط با محصول یا فرآیند مورد ارزیابی، از جمله مواد خام، مصرف انرژی، انتشار و ضایعات تولید شده است. سپس از این داده‌ها برای ایجاد موجودی چرخه عمر (LCI) استفاده می‌شود که اثرات زیست محیطی محصول یا فرآیند را کمی می‌کند [۸]. مرحله ارزیابی تأثیر شامل ارزیابی اثرات زیست محیطی داده‌های LCI با استفاده از دسته‌بندی‌های تأثیر مانند تغییرات آب و هوا، سمیت انسانی و کیفیت اکوسیستم است. این اجازه می‌دهد تا تأثیرات مختلف را با هم مقایسه و در یک شاخص واحد، مانند ردپای کربن، جمع‌آوری کنند [۹]. در نهایت، مرحله تفسیر شامل استفاده از نتایج LCA برای شناسایی مناطقی است که می‌توان در آن‌ها بهبود ایجاد کرد و نتایج را به ذینفعان منتقل کرد. این می‌تواند به ارتقای پایداری و تشویق اتخاذ شیوه‌های سازگارتر با محیط زیست در صنعت ساخت و ساز و مهندسی عمران کمک کند در شکل ۱ شماتیک از چارچوب ارزیابی چرخه حیات را نشان می‌دهد [۱۰].



شکل ۱- چارچوب ارزیابی چرخه حیات

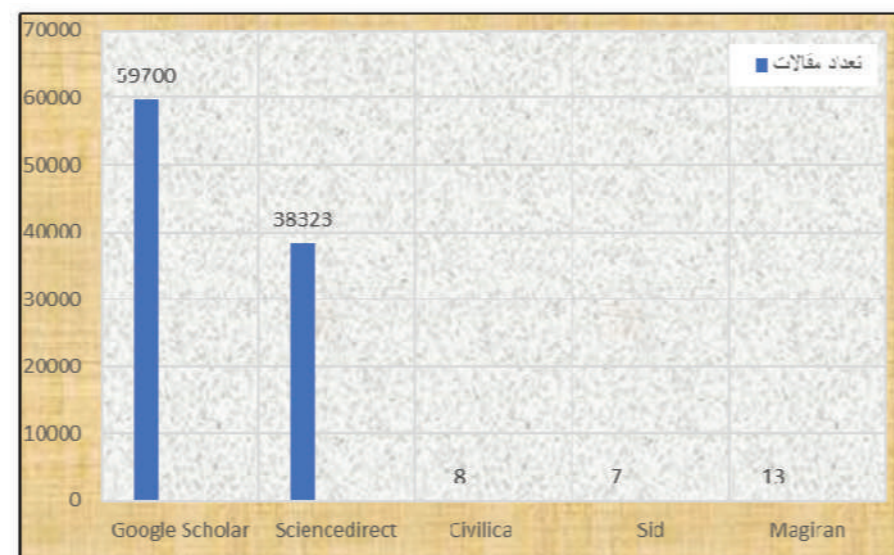
یکی از چالش‌های اجرای LCA در صنعت ساخت و ساز و مهندسی عمران، پیچیدگی و تنوع فرآیندهای درگیر است. پروژه‌های ساختمانی می‌توانند از نظر اندازه، طراحی، مواد و روش‌های ساخت و ساز بسیار متفاوت باشند و بسته به موقعیت و بافت محیطی خود می‌توانند تأثیرات متفاوتی داشته باشند [۱۱]. علاوه بر این، اثرات زیست محیطی فعالیت‌های ساختمانی می‌تواند غیرمستقیم باشد، مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید شده در طول تولید مواد خام یا حمل و نقل مصالح ساختمانی. علیرغم این چالش‌ها، استفاده از LCA در صنعت ساخت و ساز و مهندسی عمران در حال رشد است، زیرا شرکت‌ها و سازمان‌های بیشتری به اهمیت پایداری و عملکرد زیست محیطی پی می‌برند. در واقع، در بسیاری از کشورها، LCA برای پروژه‌های دولتی یا پروژه‌هایی که به دنبال گواهی‌های زیست محیطی هستند، به یک الزام تبدیل می‌شود [۱۲]. همان‌طور که صنعت ساخت و ساز و مهندسی عمران به رشد و تکامل خود ادامه می‌دهد، استفاده از LCA اهمیت بیشتری پیدا کرده است. با اتخاذ یک رویکرد جامع برای ارزیابی زیست محیطی، LCA می‌تواند به اطمینان از پایداری بیشتر پروژه‌های ساختمانی و به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی کمک کند. در این تحقیق برای جمع‌آوری اطلاعات تحقیقات پیشین، پنج سایت خارجی و داخلی بررسی می‌گردد و سپس به تحلیل و ارزیابی مقالات مرتبط با ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساختمان‌سازی پرداخته می‌شود، طبق شکل ۲ فرآیند ارزیابی چرخه حیات نشان داده شده است [۱۳].



شکل ۲- مراحل ارزیابی چرخه حیات

روش تحقیق

در این پژوهش برای جمع‌آوری تحقیقات پیشین در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۳ سایت‌های خارجی و داخلی نظیر Scenedirect، Google Scholar، Civilica، Sid، Magiran مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه این بررسی نشان می‌دهد که در سایت‌های خارجی مطالعات زیادی مربوط به ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساختمان‌سازی صورت می‌گیرد اما در سایت‌های داخلی بسیار کم به این موضوع پرداخته شده است به همین خاطر در سایت‌های داخلی مقالات ده سال گذشته نیز مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۳ نتایج این بررسی را نشان می‌دهد.

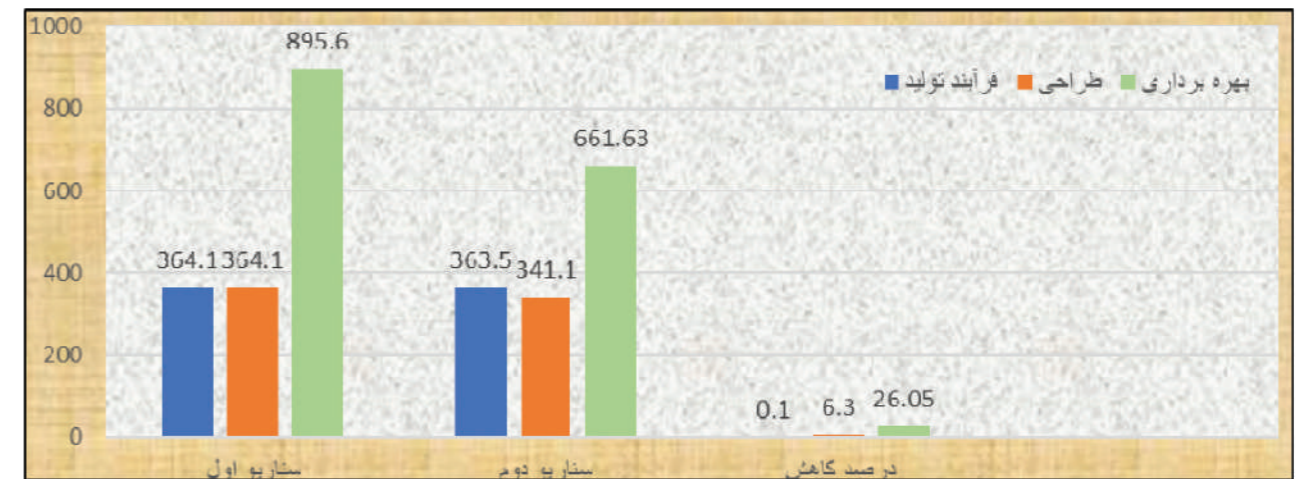


شکل ۳- تعداد مطالعات پیشین در سایت‌های داخلی و خارجی

بررسی مقالات برگزیده مرتبط با موضوع

ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساختمانی نقش بسزایی دارد، در سال ۱۳۹۳ تحقیقی با عنوان بررسی نقش مصرف نانوسیلیس در بتن بر عملکرد زیست محیطی و اقتصادی آن صورت گرفت. مصالح ساختمانی بخصوص بتن از پرمصرفترین مصالح در دنیا به شمار می‌آید در ساخت بتن از طرح اختلاطهای متفاوتی استفاده می‌شود که نانو

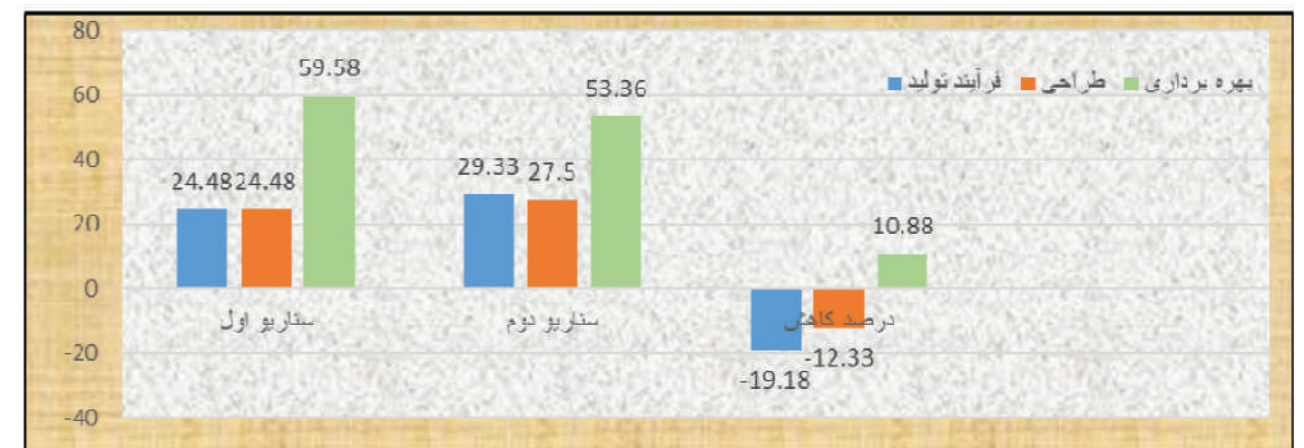
سیلیس به علت خاصیت پوزولانی بودن بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش دو سناریو که یکی از آنها فاقد نانوسیلیس و دیگری حاوی ۶ کیلوگرم نانو سیلیس است در شاخص گرمایش جهانی و مصرف سوخت فسیلی مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۴ سناریوی اول و دوم در شاخص گرمایش جهانی نشان داده شده است [۱۴].



شکل ۴- مقایسه ارزیابی زیست محیطی سناریوی اول و دوم در شاخص گرمایش جهانی (kg of CO₂)

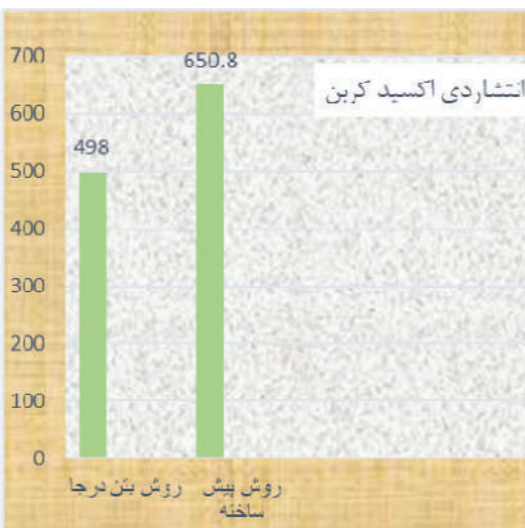
مصرف سوخت فسیلی مورد بررسی قرار گرفتند. در شکل ۵ می‌توان میزان مصرف سوخت را در هر یک از مراحل تولید، طراحی و بهره‌برداری در سناریوها مشاهده کرد. این شکل نشان می‌دهد که با اضافه کردن نانو سیلیس در سناریوی دوم چه اثراتی در شاخص‌های مصرف سوخت‌های فسیلی و گرمایش جهانی به دنبال دارد. همچنین با سناریوی اول بتن فاقد نانو سیلیس با سناریوی دوم در این شاخص‌ها مقایسه شد [۱۴].

سوخت‌های فسیلی به روش‌های مختلفی در صنعت ساخت‌وساز مورد استفاده قرار می‌گیرند، مانند تأمین انرژی ماشین‌های سنگین، تولید سیمان و حمل و نقل مواد. مصرف انرژی در ساخت‌وساز در سال‌های اخیر با افزایش تقاضا برای پروژه‌های ساختمانی در سراسر جهان افزایش یافته است. علاوه بر این، استفاده از روش‌ها و مصالح ساختمانی با انرژی بر سهم این بخش در کاهش ذخایر سوخت فسیلی می‌افزاید. در این پژوهش سناریوی اول و دوم در شاخص



شکل ۵- مقایسه ارزیابی زیست محیطی سناریوی اول و دوم در شاخص مصرف سوخت فسیلی (MJ)

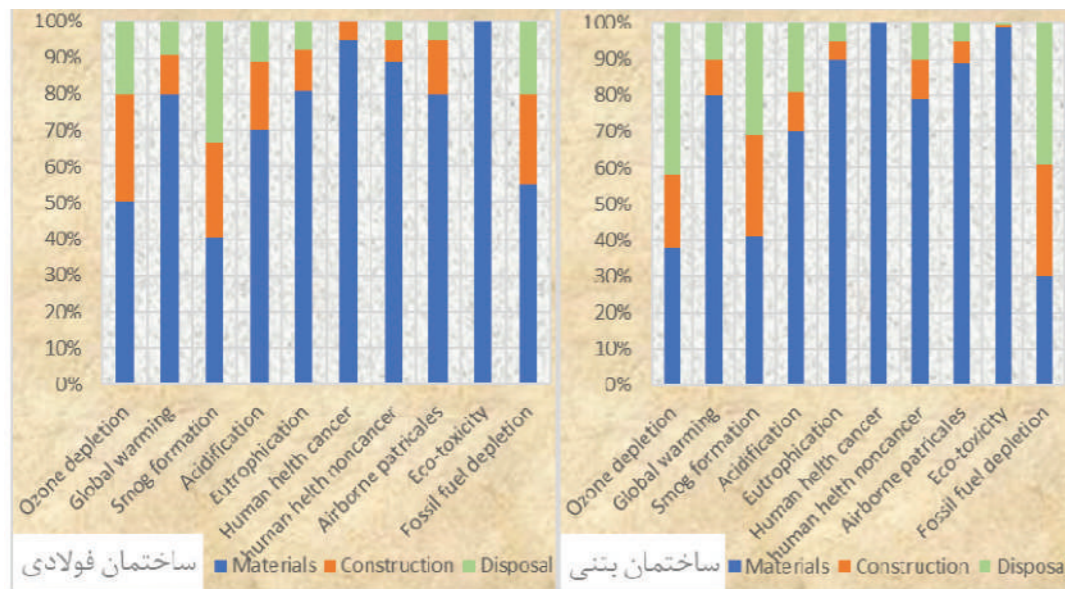
پژوهشی با عنوان ارزیابی پایداری زیست محیطی در ساخت صنعتی روش اجرایی بتن پیش‌ساخته صورت گرفت. در این پژوهش دو سیستم ساختمانی پیش‌ساخته و درجا در دو شاخص انتشار کربن دی اکسید و مصرف انرژی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که روش بتن درجا



شکل ۶- انتشار کل دی اکسید کربن (Kg/m³) و کل انرژی صرف شده (MJ/m³) به ازای یک متر مکعب بتن

در سال ۱۴۰۰ پژوهشی با عنوان آثار محیط زیستی چرخه عمر ساختمان‌های مسکونی با اسکلت بتنی و فولادی انجام شد. این پژوهش بیان می‌کند که نوع سیستم اجرایی ساختمان می‌تواند اثرات زیست محیطی متفاوتی داشته باشد بدین منظور دو ساختمان فولادی و بتنی در چهار مرحله تولید، فرآوری مواد، ساخت و بهره‌برداری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که بیشترین آلودگی

مربوط به تولید مصالح به ویژه فولاد است. ساختمان اسکلت فولادی در بیشتر آثار محیط زیستی از جمله گرمایش جهانی، ذرات معلق، اسیدی شدن، تغذیه‌گرایی آلودگی کمتری نسبت به اسکلت بتنی ایجاد نموده است. در شکل ۷، درصد آثار زیست محیطی چرخه عمر ساختمان فولادی و بتنی نشان داده شده است [۱۶].



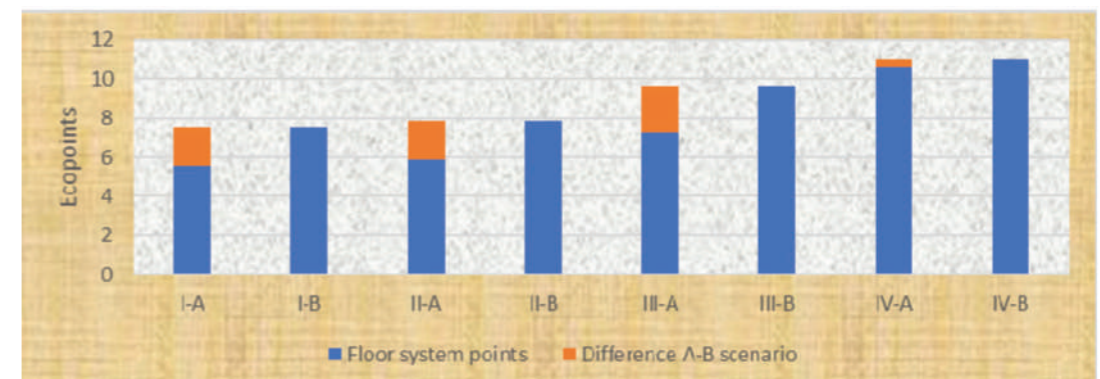
شکل ۷- ارزیابی چرخه عمر اثرات زیست محیطی ساختمان فولادی و بتنی

بحث و نتیجه‌گیری

زیست داشت. این بررسی همچنین بر اهمیت تفکر چرخه حیات در فرآیند تصمیم‌گیری برای دستیابی به توسعه پایدار تأکید می‌کند. برای اجرای LCA از استانداردهایی از جمله، ISO 14040 که اصول و چارچوب برای اجرای LCA را مشخص می‌کند، و استاندارد ISO 14044 الزامات، دستورالعمل‌ها و رویه‌های LCA را شرح می‌دهد. صنعت ساخت و ساز می‌تواند از این استانداردها با استفاده از LCA برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی ساختمان‌های خود در طول چرخه عمر خود بهره‌مند شود. این می‌تواند شامل ارزیابی تأثیر طراحی ساختمان، فرآیند ساخت، بهره‌برداری، و در نهایت تخریب و دفع باشد. LCA می‌تواند به ارزیابی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با تولید مواد مختلف، میزان ضایعات تولید شده و میزان سمیت در محصولات ساختمانی بر سلامت انسان و محیط زیست کمک کند. این صنعت می‌تواند گام‌های مهمی را در پروژه‌های عمرانی که از نظر زیست محیطی پایدار هستند، بردارد.

یافته‌های اصلی بررسی نشان می‌دهد که LCA ابزار ارزشمندی برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و پایداری مصالح ساختمانی و ساختمان‌ها است. این پژوهش نشان داد که شیوه‌های پایدارتر در صنعت ساخت‌وساز به توجه بیشتری نیاز دارد، استفاده از LCA عواملی را که بر پایداری ساختمان تأثیر می‌گذارد، مانند انتخاب مواد، مصرف انرژی، مصرف آب و مدیریت زباله، بررسی می‌کند. یافته‌ها بیان می‌کنند که برخی از مواد مانند بتن تأثیر قابل توجهی بر محیط زیست دارد، در تحقیقی نشان داده شد که میزان انرژی مصرفی و انتشار دی‌اکسید کربن به ازای هر مترمکعب بتن پیش‌ساخته به ترتیب برابر است با ۵۱۵۲/۱ مگاژول بر مترمکعب و ۶۵۰/۸ کیلوگرم بر مترمکعب، در حالی که ساختمان اسکلت فولادی در بیشتر آثار محیط زیستی از جمله گرمایش جهانی، ذرات معلق، اسیدی شدن، تغذیه‌گرایی آلودگی کمتری نسبت به اسکلت بتنی ایجاد نموده است، اما ساختمان چوبی به نسبت فولاد تأثیر کمتری بر محیط

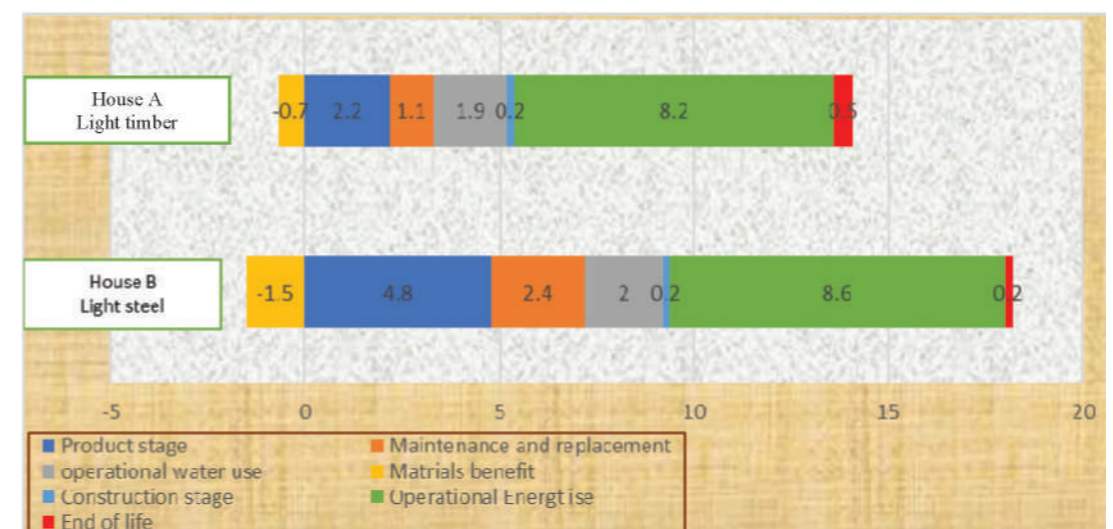
پژوهشی با عنوان نمونه‌ای از سیستم‌های کف ساختمان با استفاده از معیارهای LCA در سال ۲۰۲۰ توسط ماریا و همکاران صورت گرفت. در این پژوهش دو سناریوی مختلف با چهار سیستم ساخت و ساز از جمله تیرچه بتنی پیش‌تنیده یک طرفه با بلوک‌های دال توخالی سرامیکی (I)، تیرچه شبکه پیش ساخته یک طرفه و آجرهای توخالی بتنی (II)، تیرچه دو طرفه با بتن ریخته‌گری شده و بلوک پرنکنده پلی‌استایرن منبسط شده (III) و دال بتن آرمه (IV)، نتایج امتیازات هر



شکل ۸- تفاوت در امتیازات برای هر نوع سیستم کف در دو سناریو

در سال ۲۰۲۲ پژوهشی با عنوان مطالعه تطبیقی در ارزیابی چرخه زندگی ساختمان‌های مسکونی نیوزیلند انجام شد. در سال ۲۰۲۰ در نیوزیلند به دلیل کمبود الوار ساختمان‌های فولادی رواج پیدا کرد. دولت نیوزیلند متعهد به اقداماتی برای کاهش انتشار کربن در صنعت ساختمان‌سازی است که اعلام کرده تا سال ۲۰۳۰ انتشار گازهای گلخانه‌ای را تا ۵۰ درصد کاهش دهد. ارزیابی چرخه حیات (LCA) تکنیکی به دنبال داشت [۱۸].

برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی یک محصول در طول چرخه عمر آن است. با استفاده از تکنیک ارزیابی چرخه حیات احداث دو ساختمان معمولی در نیوزیلند برای بررسی انتشار کربن مورد ارزیابی قرار گرفت. طبق شکل ۹ میزان نتایج مقایسه‌ای گرمایش جهانی از دو خانه چوبی و فولادی صورت گرفت که ساختمان فولادی اثرات مخربی برای محیط‌زیست به دنبال داشت [۱۸].



شکل ۹- نتایج مقایسه ای گرمایش جهانی از دو خانه چوبی و فولادی



1. Rosado, L. P., Vitale, P., Penteado, C. S., & Arena, U. (2019). Life cycle assessment of construction and demolition waste management in a large area of São Paulo State, Brazil. *Waste management*, 85, 477-489.
2. Zhang, Y., Luo, W., Wang, J., Wang, Y., Xu, Y., & Xiao, J. (2019). A review of life cycle assessment of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 209, 115-125.
3. Hasik, V., Escott, E., Bates, R., Carlisle, S., Faircloth, B., & Bilec, M. M. (2019). Comparative whole-building life cycle assessment of renovation and new construction. *Building and Environment*, 161, 106218.
4. Jain, S., Singhal, S., & Pandey, S. (2020). Environmental life cycle assessment of construction and demolition waste recycling: A case of urban India. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104642.
5. Luo, L., & Chen, Y. (2020). Carbon emission energy management analysis of LCA-Based fabricated building construction. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 27, 100405.
6. Farina, I., Colangelo, F., Petrillo, A., Ferraro, A., Moccia, I., & Cioffi, R. (2020). LCA of concrete with construction and demolition waste. In *Advances in Construction and Demolition Waste Recycling* (pp. 501-513). Woodhead Publishing.
7. Göswein, V., Rodrigues, C., Silvestre, J. D., Freire, F., Habert, G., & König, J. (2020). Using anticipatory life cycle assessment to enable future sustainable construction. *Journal of Industrial Ecology*, 24(1), 178-192.
8. Oladazimi, A., Mansour, S., & Hosseini, S. A. (2020). Comparative life cycle assessment of steel and concrete construction frames: a case study of two residential buildings in Iran. *Buildings*, 10(3), 54.
9. Mesa, J. A., Fúquene-Retamoso, C., & Maury-Ramírez, A. (2021). Life cycle assessment on construction and demolition waste: A systematic literature review. *Sustainability*, 13(14), 7676.
10. Dong, Y., Hossain, M. U., Li, H., & Liu, P. (2021). Developing conversion factors of LCIA methods for comparison of LCA results in the Construction Sector. *Sustainability*, 13(16), 9016.
11. Pakdel, A., Ayatollahi, H., & Sattary, S. (2021). Embodied energy and CO2 emissions of life cycle assessment (LCA) in the traditional and contemporary Iranian construction systems. *Journal of Building Engineering*, 39, 102310.
12. Abouhamad, M., & Abu-Hamd, M. (2021). Life cycle assessment framework for embodied environmental impacts of building construction systems. *Sustainability*, 13(2), 461.
13. Hussien, A., Saleem, A. A., Mushtaha, E., Jannat, N., Al-Shammaa, A., Ali, S. B., ... & Al-Jumeily, D. (2023). A statistical analysis of life cycle assessment for buildings and buildings' refurbishment research. *Ain Shams Engineering Journal*, 102143.
۱۴. صبور، محمدرضا و یکه لر، مینا و نیکروان، مرتضی، (۱۳۹۳)، بررسی نقش مصرف نانوسیلیس در بتن بر عملکرد زیست محیطی و اقتصادی آن. <https://civilica.com/doc/559916>
۱۵. ایرج محمودزاده کنی، سیروان لاهوریور، جواد گودینی، (۱۳۹۶). ارزیابی «پایداری زیست محیطی» در ساخت صنعتی (نمونه موردی: روش اجرایی بتن پیش ساخته)، نشریه مهندسی عمران، ۳۴۹(۳)، ۵۶۵-۵۷۶. magiran.com/p1777802
۱۶. مسعود طاهرپون، مهدی هدایی، پیام اسدی، و اصغر فلاحی زرندي، (۱۴۰۰) "آثار محیط زیستی چرخه عمر ساختمانهای مسکونی با اسکلت بتنی و فولادی، مطالعه موردی شهر اصفهان،" مهندسی عمران (فنی و مهندسی مدرس)، ۱-۱۴، شماره ۵.
17. Valencia-Barba, Y. E., Gómez-Soberón, J. M., Gómez-Soberón, M. C., & López-Gayarre, F. (2020). An epitome of building floor systems by means of LCA criteria. *Sustainability*, 12(13), 5442.
18. Dani, A. A., Roy, K., Masood, R., Fang, Z., & Lim, J. B. (2022). A comparative study on the life cycle assessment of New Zealand residential buildings. *Buildings*, 12(1), 50.



مصاحبه ای با دکتر وحید گلوی عضو تیم برنامه نویسی نرم افزار ژئوتکنیکی پلکسیس

خلاصه

لطفا خودتان را معرفی نموده و تحصیلات و شغل فعلی خود را بیان کنید.

ضمن عرض سلام و درود به حضور همه خوانندگان گرامی، اینجانب وحید گلوی، زاده شهر زاهدان و ساکن کشور هلند می باشم. مدارک تحصیلی اینجانب عبارتند از: دکترای ژئوتکنیک محاسباتی از دانشگاه صنعتی گراتس اتریش، کارشناسی ارشد خاک و پی از دانشگاه تربیت مدرس و کارشناسی مهندسی عمران از دانشگاه سیستان و بلوچستان. اینجانب پس از اتمام دوران تحصیل در مقطع دکتری تا کنون، به عنوان پژوهشگر و مشاور علمی در زمینه روش های عددی در مهندسی ژئوتکنیک با شرکت های مطرح و موسسات تحقیقاتی در این زمینه و همچنین دانشگاه دلفت هلند همکاری کرده ام.

مصاحبه کننده: پیام اسدی

دانشجوی دکتری مهندسی ژئوتکنیک، دانشگاه تربیت مدرس



تحصیل در دوران مدرسه و مقطع کارشناسی برای شما چگونه سپری شد؟

در شروع دوران دبستان، به دلیل این که سن واقعی بنده ۸ ماه از سن شناسنامه‌ای و همکلاس‌هایم کمتر بود، مدرسه را جایی برای بازی و سرگرمی می‌دیدم و با این که مباحث درسی را راحت یاد می‌گرفتم، اما از محیط خشک کلاسی و تکالیف سنگین و تکراری، گریزان بودم. این مساله تا جایی پیش رفت که حتی برخی از آموزگاران در دوران دبستان امیدی به قبولی من در کلاس نداشتند. اما در دوران راهنمایی با کمتر شدن تکالیف و تغییر دروس و اضافه شدن علوم تجربی و ریاضی که از کودکی به چنین مباحثی بسیار علاقه‌مند بودم، باعث شد که به مدرسه و تحصیل جذب شوم. درس علوم تجربی من را با دنیای بیرون آشنا می‌کرد و علاقه من به اینگونه دروس به حدی بود که تعداد زیادی از کتب علمی آن زمان، نوشته آیزاک آسیموف و یا مجلات علمی نظیر دانشمند را تهیه و مطالعه می‌کردم و حتی با تهیه یک میکروسکوپ در خانه، به بررسی دنیایی می‌پرداختم که با چشم قابل رویت نبود. در این دوران همواره بالاترین نمرات ریاضی و تجربی را در کل مدرسه اخذ می‌کردم و به همین دلیل هم در دوران دبیرستان رشته ریاضی و فیزیک را انتخاب کردم.

در دوران دبیرستان، با علاقه زیادی دروس مختلف ریاضی از قبیل جبر، هندسه، مثلثات و همچنین فیزیک و شیمی را مطالعه می‌کردم به طوری که بالاترین نمرات در این دروس متعلق به بنده بود و به همین دلیل نیز برای المپیاد ریاضی از سوی دبیرستان انتخاب شدم. با کسب رتبه برتر المپیاد مرحله اول کشوری موفق شدم که جز ۱۰۰ نفر اول این مرحله باشم. مرحله دوم و نهایی کشوری در زمستان ۱۳۷۲ در شهر زیبای شیراز برگزار شد که متأسفانه در این مرحله به عنوان ۶ نفر نهایی جهت اعزام به مسابقات بین المللی انتخاب نشدم. این دوره المپیاد ریاضی مربوط به همان سالی است که مرحوم پروفیسور میرزاخانی نیز در آن شرکت داشتند و گروه اعزامی ایران، پرافتخارترین دوره المپیاد ریاضی را رقم زدند.

در سال‌های آخر دبیرستان به دلیل آشنایی با کامپیوتر، به برنامه‌نویسی نیز علاقه‌مند شدم به طوری که برخی از زبان‌های برنامه‌نویسی از قبیل کوئیک بیسیک و پاسکال را با مطالعه

و بصورت خودآموز یاد گرفتم.

پس از اعلام نتایج کنکور کارشناسی، علی‌رغم این که می‌توانستم در دانشگاه‌های خوب و زیادی در خارج از زاهدان قبول شوم، اما به دلیل این که پدرم تمایلی به اقامت فرزندان در خوابگاه نداشت، به اصرار ایشان دانشگاه سیستان و بلوچستان را انتخاب کردم و در رشته مهندسی عمران تحصیل کردم و همواره بهترین نمرات را در دروس تخصصی و پایه اخذ نمودم.

از تصمیم برای ادامه تحصیل و ورود به مقطع ارشد در دانشگاه تربیت مدرس برای ما صحبت کنید.

پس از ورود به دانشگاه، همواره در این فکر بودم که ادامه تحصیل بدهم اما در ابتدا نمی‌دانستم چه گرایشی را انتخاب خواهم کرد. در ابتدای دوران تحصیل کارشناسی، به دروس سازه بسیار علاقه‌مند شدم به طوری که در سال‌های آخر و پس از گذراندن درس مهندسی زلزله، تصمیم گرفتم که حتماً در این گرایش ادامه تحصیل بدهم. البته همان‌گونه که مستحضرید، قبولی در کارشناسی‌ارشد در سال‌های دوران تحصیل ما بسیار دشوار بود به طوری که در کل گرایش‌های رشته مهندسی عمران، ۶۰۰ نفر قبول می‌شدند و رقابت بسیار شدید بود. این رقابت برای قبولی در دانشگاه‌های سطح تهران بسیار سنگین‌تر بود. در آن دوران آزمون کنکور در چند شهر خاص برگزار می‌شد (که زاهدان جزء آن شهرها نبود) و حتی انتخاب رشته کارشناسی ارشد قبل از برگزاری آزمون کنکور انجام می‌شد و در روز کنکور، برگه انتخاب رشته همراه با پاسخنامه تحویل داده می‌شد. در کنار همه این موارد، پدر بنده نیز کمتر از یک ماه مانده به کنکور فوت شدند و روند مطالعه بنده نیز در روزهای مانده به کنکور به‌طور کامل مختل شد. با این تفاسیر، شب قبل از کنکور به یک باره تصمیم بنده در زمینه رشته مهندسی زلزله عوض شد و گرایش ژئوتکنیک را برای ارشد انتخاب کردم و توانستم با رتبه خوبی در دانشگاه تربیت مدرس قبول شوم. اکنون که در خاطرات به گذشته فکر می‌کنم بسیار خوشحال هستم که این گرایش را انتخاب کرده‌ام چون یک رشته فراگیر در مهندسی عمران است و اکنون در مورد مکانیک و رفتار دشوارترین ماده دنیا یعنی خاک پژوهش می‌کنم.

عنوان پایان‌نامه کارشناسی ارشد شما چه بود و چه دلیلی باعث شد در مقطع کارشناسی‌ارشد به سراغ برنامه‌نویسی کامپیوتر بروید؟ ایده پایان‌نامه مقطع ارشد شما از کجا مطرح شد؟

پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان «برنامه کامپیوتری برای تحلیل رفتارهای گوناگون غیر خطی در مهندسی ژئوتکنیک» توسط آقای دکتر فخری به اینجانب پیشنهاد شد که البته این موضوع قبل از بنده با دانشجویان دیگری هم در میان گذاشته شده بود اما هیچ کدام از آنان این موضوع را به دلیل حجم فراوان کاری و برنامه‌نویسی که داشت، قبول نکرده بودند. هدف اصلی از این پایان‌نامه این بود که کاربران برنامه CA2 قادر باشند بدون دسترسی به متن برنامه اصلی، مدل‌های رفتاری دلخواه را تعریف نموده و یا هرگونه تغییراتی نظیر مش‌بندی‌های گوناگون، پارامترها، گراف‌ها و غیره را، در مدل‌سازی ایجاد نمایند. علاوه بر این اهداف، مدل رفتاری دونکن و چنگ نیز بایستی به برنامه اضافه می‌شد. پس از این پیشنهاد، چند هفته به بررسی برنامه CA2 پرداختم و به این نتیجه رسیدم که برای تهیه این برنامه زحمت زیادی کشیده شده است و ارتقای آن توسط بنده می‌تواند کمک فراوانی به جامعه مهندسی در ژئوتکنیک نماید. به همین دلیل این موضوع را قبول کردم.

علاوه بر مطالعات و تحقیقات فراوان ژئوتکنیکی و عددی که در این پایان‌نامه نیاز بود، حجم برنامه‌نویسی آن نیز بسیار زیاد بود به طوری که برای درس سمینار با موضوع «تحلیل عددی آزمایش پرسیمتری در خاک» در حد یک پایان‌نامه کامل ژئوتکنیک کار و تحقیق کردم و یک نسخه از آن در کتابخانه دانشگاه تربیت مدرس موجود است.

ورود به دنیای برنامه‌نویسی کامپیوتر برای شما از چه زمانی شروع شد؟ بعد از شروع تحصیل در مقطع ارشد؟

همان‌گونه که قبلاً نیز عرض کردم، علاقه من به کامپیوتر و برنامه‌نویسی از دوران دبیرستان شروع شد و بصورت خودآموز زبان‌های بیسیک و پاسکال را یاد گرفتم. زبان فرترن را بعداً در دوران کارشناسی‌ارشد یاد گرفتم چون کد برنامه آقای دکتر فخری به زبان فرترن نوشته شده بود و بنده باید آن را به همین زبان توسعه می‌دادم. بنده هیچ‌گاه صرفاً به عنوان یک برنامه‌نویس کار نکردم هر چند که برنامه‌هایی که نوشتم به لحاظ ساختار و عملکرد حرفه‌ای هستند. برنامه‌نویسی بنده همواره به این دلیل بوده که به عنوان یک پژوهشگر عددی در مهندسی ژئوتکنیک به آن نیاز داشتم. البته برای یک مدت

کوتاهی در سال قبل به عنوان برنامه‌نویس و سرپرست تیم برنامه‌نویسان در کنار کارهای پژوهشی، فعالیت داشته‌ام.

وقتی قرار شد در آن زمان، با امکانات محدود، یک برنامه کامپیوتری بنویسید، نگران نبودید؟

هیچ وقت از برنامه‌نویسی نگرانی نداشتم چون خیلی به کامپیوتر و برنامه‌نویسی علاقه داشتم و برای بنده کار جذابی است. در زمان کارشناسی‌ارشد، یک کامپیوتر دسکتاپ داشتم و نیازی به رفتن به مرکز کامپیوتر نبود، هرچند که مرکز کامپیوترها هم تعداد محدودی کامپیوتر داشتند که فقط در زمان‌های خاصی قابلیت استفاده از اینترنت داشتند. در ابتدای پایان‌نامه تصوری از حجم کار برنامه‌نویسی پایان‌نامه نداشتم اما به مرور که پیش رفتم، به حجم بالای کار پی بردم و با توجه به زمان محدود انجام پایان‌نامه، مجبور بودم شبانه‌روزی بر روی پایان‌نامه کار کنم به طوری که خیلی کم می‌خوابیدم و حتی یک‌بار تا ۴۳ ساعت حتی یک ثانیه نخوابیدم. با همه این سختی‌ها، پایان‌نامه و برنامه خوب پیش رفت و با بالاترین نمره پایان‌نامه در تاریخ دانشکده مهندسی تربیت مدرس تا آن زمان، کارشناسی‌ارشد در کمتر از ۲ سال به اتمام رسید.

زمانی که شما دانشجوی دانشگاه تربیت مدرس بودید، شرایط دانشگاه، دانشکده و گروه از نظر امکانات رفاهی و آزمایشگاهی و همچنین شرایط اساتید گروه به چه شکل بود؟ خاطره‌ای از شرایط آن زمان دارید؟

اینجانب ورودی سال ۱۳۷۸ بودم. در آن زمان دانشگاه جوی سنگین داشت و اکثر دانشجویان مرد بودند، در دانشگاه و خوابگاه بسیاری از کارهایی که شاید الان عادی به نظر آیند ممنوع بود، نظیر صدای موسیقی. گروه ژئوتکنیک ۳ استاد داشت آقایان دکتر فخری، دکتر کمک پناه و دکتر یثربی. آقای دکتر فخری مدیر گروه بودند، امکانات دانشگاه تربیت‌مدرس در آن زمان مانند بقیه دانشگاه‌ها (یا حداقل در حد دانشگاه سیستان و بلوچستان) بود. در مورد آزمایشگاه‌ها چون کار بنده آزمایشگاهی نبود هیچ نظری ندارم. مرکز کامپیوتر دانشگاه به تعدادی کامپیوتر مجهز بود که تعداد محدودی از آن‌ها به اینترنت وصل بودند و برای استفاده نیاز به رزرو وقت داشت. البته به نظر بنده چون آن زمان اوایل راه اندازی اینترنت در دانشگاه‌ها بود، احتمالاً در همه دانشگاه‌های ایران وضعیت به همین شکل بوده است. اما در کل، امکانات دانشگاه تربیت‌مدرس خوب

بود و از نظر من کمبودی وجود نداشت. در سال ۱۳۷۸، دانشگاه تربیت مدرس پذیرای تعداد ۵ دانشجوی موفق ارشد ژئوتکنیک بود که علاوه بر بنده، هم‌اینک آقای سیاوش قابزلو در دانشگاهی در فرانسه و آقای علی‌رضا باقریه در ایران استاد دانشگاه هستند.

بعد از اتمام مقطع کارشناسی‌ارشد در ایران، چطور شرایط برای مهاجرت شما فراهم شد؟ برای مقطع دکتری اپلای تحصیلی کردید یا مهاجرت کاری داشتید؟

از اواخر دوره کارشناسی‌ارشد، مذاکرات بنده با پروفسور فرمیر و به قصد ادامه تحصیل در دانشگاه اشتوتگارت شروع شد. پروفسور فرمیر بنیان‌گذار برنامه پلکسیس هستند و قبلاً استاد دانشگاه صنعتی دلفت هلند بودند. بنده قصد داشتم که طبق مصوبه مجلس در سال ۱۳۷۹، دوره خدمت سربازی را بخرم و برای ادامه تحصیل به آلمان بروم. اما متأسفانه به دلیل اتفاقات ۱۱ سپتامبر در نیویورک آمریکا، فروش سربازی از شهریور ۱۳۸۰ به‌طور کامل لغو شد و بنده پس از اتمام تحصیل در دانشگاه تربیت مدرس، به زاهدان برگشتم و تا مشخص شدن وضعیت، یک ترم در دانشگاه آزاد زاهدان به تدریس پرداختم. نهایتاً از بهمن ۱۳۸۰ جهت انجام خدمت سربازی به صورت امریه در گروه مهندسی عمران دانشگاه زابل به عضویت هیأت علمی در آمدم. در آن زمان آقای دکتر فخمی به یکی از دانشگاه‌های آمریکا رفته بودند و با توجه به شناختی که از بنده داشتند و علاقه بنده به ادامه تحصیل، یک دعوت‌نامه تحصیلی دکتری از سوی ایشان برای اینجانب ارسال شد. اما اخذ ویزا برای آمریکا که در ایران سفارت‌خانه نداشت کار دشواری بود چون بایستی به یکی از کشورهای همسایه دارای سفارتخانه آمریکا مراجعه می‌کردم که خروج از کشور در دوره سربازی نیز امکان‌پذیر نبود. اما با لطف مسئولان دانشگاه زابل و همچنین پیگیری‌های فراوان اینجانب در وزارت علوم و سپاه پاسداران انقلاب اسلامی، در نهایت توانستم با فرار وثیقه اجازه یک بار خروج از کشور را بگیرم. برای گرفتن ویزا آمریکا به کشور قبرس رفتم اما متأسفانه، درست پیش از مسافرت من، جنگ آمریکا با عراق شروع شد و در آن شرایط درخواست ویزای بنده رد شد. پس از این واقعه و بر طبق قانون سفارت آمریکا، تا ۶ ماه حق درخواست مجدد ویزا را نداشتم. بنابراین بعد از ۶ ماه، دوباره

به سفارت آمریکا جهت اخذ ویزا مدارک ارسال کردم اما این دفعه درخواست اجازه خروج از کشور اینجانب از سوی سپاه پاسداران (به دلیل حضور در سفارت کشور متخاصم) به کلی رد شد و بنده هیچگاه نتوانستم در سفارت آمریکا جهت اخذ ویزا حضور پیدا کنم.

با این وضعیت، تصمیم گرفتم برای ادامه تحصیل به اروپا بروم که در ایران سفارت داشتند و برای اخذ ویزا مشکلات آمریکا را نداشتم. به این منظور موفق شدم از پروفسور شوایگر (که یکی از اساتید شناخته شده ژئوتکنیک عددی در اروپا هستند) در دانشگاه صنعتی گراتس اتریش پذیرش دکتری بگیرم و در مهر ماه ۱۳۸۳ از کشور خارج شدم.

شروع زندگی در خارج از ایران چطور بود؟ از چالش‌های آن دوران بگویید.

زندگی در اروپا در ابتدا راحت نبود چون هیچ اطلاعاتی از زندگی در اتریش و اروپا نداشتم. البته برای بنده زبان محاوره‌ای و نوشتاری آلمانی مشکل نبود چون از زمان دوره کارشناسی و کارشناسی‌ارشد به دلیل علاقه به زبان آلمانی، این زبان را مطالعه می‌کردم و حتی از موسسه گوته سفارت آلمان مدرک زبان گرفته بودم. اما مشکل این بود که زبان محاوره‌ای در اتریش، در واقع یک نوع لهجه خاص آلمانی است و در اوایل حضورم در اتریش، خیلی کم گفتارها را درک می‌کردم به‌طوری که در جلسات گروه که بنده را برای اخذ تصمیمات دعوت می‌کردند، پس از مطالعه متن صورت‌جلسه متوجه موضوع می‌شدم و سپس نظر خود را اعلام می‌کردم. البته به مرور که با لهجه اتریش آشنا شدم مشکلات محاوره هم برطرف شدند. از طرف دیگر تعداد دانشجویان ایرانی در دانشگاه صنعتی اتریش در آن زمان بسیار اندک بود (در حد ۲-۳ نفر) و دانشجویان ایرانی عموماً برای تحصیل در رشته‌های هنر به اتریش می‌رفتند که دانشگاه آن‌ها هم جدا بود، بنابراین رابطه‌ای هم با ایرانی‌ها در آن جا نداشتم. دوستان من در آن جا فقط دانشجویان خارجی در گروه ژئوتکنیک و اساتید آن جا بودند که انصافاً بسیار با اخلاق و با معرفت بودند به‌طوری که همواره از آن دوران خاطره انگیز به نیکی یاد می‌کنم.

چطور شد که وارد تیم برنامه‌نویسی نرم‌افزار پلکسیس شدید؟ از تجربه خود بگویید.

پس از اتمام دوره دکتری در نوامبر ۲۰۰۷، مقدمات گذراندن دوره پسادکتری در دانشگاه صنعتی گراتس برای بنده فراهم شد. تقریباً در همین زمان شرکت پلکسیس قصد داشت تا در قالب یک پروژه تحقیقاتی، تحلیل هم‌زمان فشار آب و تغییر شکل در خاک‌های نیمه اشباع را به نرم‌افزار خود اضافه کند و به دنبال محقق بود که بتواند این روش عددی را انجام دهد. از آنجا که پروفسور شوایگر در آن زمان با شرکت پلکسیس رابطه کاری داشتند، بنده را به عنوان شخصی که می‌تواند این روش عددی را توسعه دهد، به شرکت پلکسیس معرفی کرد. بنده با این که در این زمینه هیچ تجربه‌ای نداشتم، فقط جهت انجام همین طرح به کشور هلند رفتم و این پروژه را در مدت زمانی بسیار کوتاه‌تر از پیش‌بینی شرکت پلکسیس، به انجام رساندم. به این دلیل مسئولان شرکت پلکسیس به من پیشنهاد قرارداد کاری دائم دادند. البته بنده قرارداد را به صورت محدود و تنها با این شرط قبول کردم که استادم در اتریش بعداً شخص دیگری را جایگزین بنده کنند، اما با توجه به علاقه من به کارهای عددی و رضایت فراوان شرکت پلکسیس از اینجانب، تا چندین سال در این شرکت ماندگار شدم و به عنوان یکی از اعضای تیم اصلی برنامه‌نویس تخصصی شرکت فعالیت نمودم.

از نظر شما تولید نرم‌افزارهای ژئوتکنیکی تا چه اندازه توانسته به متخصصین این رشته کمک کند؟

در مهندسی ژئوتکنیک، مبحثی به نام مهندسی پی وجود دارد که تقریباً پایداری هر سازه‌ای در مهندسی عمران، به طراحی صحیح آن بستگی دارد. اساس این مبحث، بر پایه تعداد زیادی از فرمول‌ها و روش‌های تحلیلی است که پس از محاسبه آن‌ها برای یک پی، پایداری یا عدم پایداری آن مشخص می‌شود. این فرمول‌ها و روش‌ها همگی بر اساس یک سری فرضیات و ساده‌سازی‌ها به دست آمده‌اند که بسیاری از پارامترها هم در آن‌ها در نظر گرفته نشده‌اند تا از پیچیدگی معادلات بکاهند. به همین دلیل، پس از محاسبات به جهت افزایش اطمینان از نتایج، آن‌ها را در ضرایب بزرگی ضرب می‌کنند که نتیجه آن طراحی غیر معقول و به اصطلاح دست بالا است. اما امروزه با پیشرفت کامپیوترها

و روش‌های عددی با دقت بالا، حل معادلات پیچیده رفتاری خاک قابل انجام است و مهندسیین طراح می‌توانند با استفاده از این نرم‌افزارهای ژئوتکنیکی دقیقاً به جزئیات مربوطه پی ببرند و حل مسائلی که به روش‌های تحلیلی تقریباً غیر ممکن است (مثلاً محاسبه حداکثر تغییر شکل یک شیت پایل در یک حفاری) را با این نرم‌افزارها ممکن سازند.

با توجه به این که خود

شما در تیم برنامه‌نویسی یکی از مطرح‌ترین نرم‌افزارهای ژئوتکنیکی دنیا فعالیت دارید، از نظر شما پیچیده‌ترین مسائل مربوط به حوزه مهندسی ژئوتکنیک که نرم‌افزارهای عددی قابلیت مدل‌سازی آن را ندارند و یا در مدل‌سازی آن ضعف دارند، کدام پدیده‌ها هستند؟ به عبارت دیگر چه پدیده‌هایی وجود دارند که نرم‌افزارهای ژئوتکنیکی در مدل‌سازی آن‌ها محدودیت دارند؟

برای پدیده‌های مختلف روش‌های مختلفی در حال توسعه است. برنامه پلکسیس برای مسائل با تغییر شکل‌های کوچک مناسب بوده و با سرعت زیاد و در کمترین زمان، نتایج قابل قبولی می‌دهد. اما در پدیده‌های با تغییر شکل‌های بزرگ، مثلاً زمین لغزش، نصب شمع در خاک، انفجار و هر پدیده‌ای که در آن هندسه مسأله کاملاً تغییر می‌کند، ناتوان است. علاوه بر روش عددی (مثلاً روش اجزاء محدود)، برای گرفتن نتایج خوب، نیاز به مدل رفتاری خوب برای ماده (خاک یا سنگ) است. متأسفانه، هنوز یک مدل رفتاری جامع برای خاک وجود ندارد و با توجه به نوع مسأله، یک مدل رفتاری انتخاب می‌شود. اکثر همین مدل‌های رفتاری هم برای یک محدوده خاصی از تنش و کرنش طراحی شده‌اند. اگر مسأله مربوط به تنش و کرنش‌های خارج از این محدوده

باشد، یا این که مساله مربوط به یک ناحیه محاسباتی بزرگ باشد، نتایج معمولاً درست نیستند. به عنوان مثال، در روش نصب شمع در خاک‌های اشباع با روش لرزه‌ای، خاک اطراف شمع روان‌گرا شده و شمع تحت وزن خودش نصب می‌شود. در این مساله، چند مشکل چالش برانگیز و عمده وجود دارد، تغییر شکل‌های خیلی بزرگ و مدل رفتاری که باید رفتار خاک را در چگالی‌های مختلف و در یک محدوده خیلی بزرگ از تنش و کرنش با دقت مناسب پیش‌بینی کند.

از دیگر مسائل چالشی در مهندسی ژئوتکنیک، مسائلی هستند که در مرز بین مهندسی ژئوتکنیک و هیدرولیک هستند، مثلاً تخریب سد خاکی در اثر روگذری، آب شستگی و ...

در حال حاضر کاربرد و استفاده از نرم‌افزارهای ژئوتکنیکی موجود در دنیا، در حوزه‌ی صنعت چگونه است؟

بخش بزرگی از هزینه‌های یک شرکت مهندسی، حقوق مهندسين آن شرکت است. بنابراین اگر با حقوق ثابت، کار بیشتری انجام شود، به سود شرکت خواهد بود. نرم‌افزارهای مهندسی، بسیاری از کارهای مهندسان را ساده‌تر کرده و باعث می‌شوند کار بیشتر در زمان کمتر قابل انجام باشد. برای همین، استفاده از نرم‌افزارها در صنعت روز به روز بیشتر می‌شود و همچنین نرم‌افزارهای بهتر و بهینه‌تری ساخته می‌شوند.

سخت‌ترین چالش آکادمیک (به‌طور ویژه در برنامه‌نویسی) که تا به امروز با آن رو به رو شده‌اید، چه بوده؟

اگرچه بنده هیچ تحصیلات آکادمیک در زمینه برنامه‌نویسی نداشته‌ام، اما تاکنون نیز با هیچ مشکلی در زمینه برنامه‌نویسی مواجه نشده‌ام که از عهده آن بر نیامده باشم. بنده از ابتدا به صورت خودآموز و از روی علاقه برنامه‌نویسی را یاد گرفتم و هم اینک نیز با بسیاری از زبان‌های برنامه‌نویسی از قبیل پاسکال، فرترن، سی، پایتون و غیره آشنایی کامل دارم. همچنین روش‌های توسعه برنامه و کنترل کیفیت، مدیریت

تیم، برنامه‌نویسی برای محاسبات با سرعت بالا را به صورت خودآموز فرا گرفتم.

شرایط کشور ما در تولید نرم‌افزارهای مهندسی، خصوصاً مهندسی ژئوتکنیک را چگونه ارزیابی می‌کنید؟

معمولاً اعتبار یک نرم‌افزار خوب به این است که چه مقدار از سوی مراکز معتبر علمی، تحقیقاتی و دانشگاهی در سطح دنیا مورد پذیرش و استفاده قرار گیرد. برای این منظور هم لازم است که تبلیغات زیادی انجام شود تا بتوان شرکت‌ها و مراکز علمی را به استفاده از یک نرم‌افزار با استانداردهای جهانی ترغیب نمود. این مساله نیاز به روابط خوب با دنیا و جوامع علمی و صنعتی بین‌المللی دارد که متأسفانه در این زمینه هیچ کار مثبتی در ایران انجام نشده است و بسیاری از مراکز علمی دنیا اصلاً به توانایی‌های ایرانیان در این زمینه واقف نیستند. از طرف دیگر، **یک نرم‌افزار وقتی**

می‌تواند موفق باشد و توجیه اقتصادی

برای محققین داشته باشد که حق تألیف

آن محفوظ باشد، در واقع استفاده از

نرم‌افزارهای کرک شده و قفل شکسته به

مانند بسیاری از کشورهای پیشرفته، جرم

تلقی گردد. تا زمانی که این مسائل حل نشود هیچ

نرم‌افزار مهندسی داخلی قابلیت بقا نداشته و محققین ترجیح می‌دهند که آن را در خارج از ایران و به اسم یک شرکت یا مرکز دانشگاهی خارجی تولید کند.

به نظر شما آیا ورود متخصصان کشور ما به عرصه تولید نرم‌افزارهای داخلی ضرورت دارد؟ یا توصیه شما استفاده از نرم‌افزارهای تجاری موجود در بازار است؟

همان‌طور که قبلاً گفتم، خیلی از مسائل هستند که با نرم‌افزارهای موجود قابل تحلیل نیستند. در واقع، می‌توان برای مسائل چالشی مهندسی، نرم‌افزار تولید کرد. یا حداقل برای مصرف داخلی نرم‌افزار ساخت البته به شرط این که به حق تألیف نرم‌افزار احترام گذاشته شود و استفاده غیر قانونی از نرم‌افزار جرم تلقی شود. در غیر این صورت بازار نرم‌افزار هیچ‌گاه رشد نخواهد کرد.

به نظر شما، در مسیر تولید نرم‌افزارهای مهندسی در کشور ما چه چالش‌هایی وجود دارد؟ و چطور می‌توان عقب افتادگی‌های موجود نسبت به نرم‌افزارهای تجاری موجود در دنیا را جبران کرد؟

در این زمینه مشکلات متعددی وجود دارد که قبلاً هم بیان شد. بسیاری از چالش‌ها به سیاست‌های کلان کشور مربوط می‌شود که به دلیل عدم رابطه با دیگر کشورها و تحریم‌ها، همه صنایع و مراکز علمی و غیره ضعیف شده‌اند. مشکل دیگر بودجه‌های پژوهشی کم دانشگاه‌ها است که انجام تحقیقات در حد استانداردهای جهانی را غیرممکن کرده است. همچنین بی‌انگیزگی دانشجویان تحصیلات تکمیلی است که مخصوصاً در یک دهه اخیر تشدید شده است و همه آمار و ارقام دانشگاهی، وزارت علوم و مجلس شورای اسلامی نیز آن را تأیید می‌کنند. در چنین شرایطی دانشجویان تحصیلات تکمیلی رغبتی به انجام پایان‌نامه‌های معتبر نشان نمی‌دهند و مراکز علمی و دانشگاهی تبدیل به مصرف‌کننده‌های نرم‌افزارهای خارجی شده‌اند.

چه توصیه‌هایی برای افرادی که می‌خواهند در زمینه تولید و یا توسعه نرم‌افزارهای مهندسی فعالیت کنند، دارید؟

به این نکته بایستی دقت نمود که تولید نرم‌افزار، تنها بخش کوچکی از بازار بزرگ مهندسی است. شخصی که به این حیطه ورود می‌کند بایستی اولاً بسیار به این حرفه علاقه‌مند و مسلط باشد و ثانیاً در نظر داشته باشد که کار کردن در این زمینه و دور بودن از کارهای عملی مهندسی به مدت طولانی ممکن است سبب شود که در آینده نتواند به عنوان مهندس در کارهای عملی مرتبط با رشته تحصیلی‌شان فعالیت کند.

در آخر اگر صحبتی دارید در خدمت شما هستیم.

از این که من را برای مصاحبه انتخاب کردید و خاطراتم را زنده کردید، بسیار سپاس‌گزارم همچنین می‌خواستم به اطلاع علاقه‌مندان و پژوهش‌گران برسانم که من یک برنامه اجزاء محدود با کد باز که اکثراً در وقت خودم نوشته شده را در آدرس زیر گذاشته‌ام. این کد اکثر امکانات برنامه‌های تجاری ژئوتکنیک (مثلاً پلکسیس) را داراست. برنامه به دو زبان سی‌پلاس‌پلاس و پایتون نوشته شده است. در این برنامه سعی کردم که تمام استانداردهای یک برنامه تجاری و حرفه‌ای را رعایت کنم. علاقه‌مندان می‌توانند این برنامه را توسعه داده و یا در پروژه‌های تحقیقاتی استفاده کنند. امیدوارم که این کار قدم کوچکی در آموزش و گسترش ژئوتکنیک عددی باشد.



<https://github.com/KratosMultiphysics/Kratos/tree/master/applications/GeoMechanicsApplication>

لطفاً تکمیل کنید.

دکتر احمدعلی فخمی: انسانی شریف و با سواد.

برنامه‌نویسی کامپیوتر: راهی برای انتقال خواسته‌ها به کامپیوتر...

زبان برنامه‌نویسی فورترن: زبانی قدیمی، پر سرعت و در حال مرگ...

قدرتمندترین نرم‌افزار ژئوتکنیکی: وجود ندارد. تمام نرم‌افزارها یک سری ضعف‌ها دارند. بسته به نوع مساله باید نرم‌افزار را انتخاب کرد...

نرم‌افزار CA2: مناسب برای کارهای پژوهشی...



Scan to Download
Previous Volumes

آدرس: تهران، بزرگراه جلال آل احمد، پل نصر، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، بلوک ۶، طبقه دوم،
دفتر انجمن علمی-دانشجویی عمران و محیط زیست

صندوق پستی: ۳۹۷-۱۴۱۱۵

Email: tmucivil@gmail.com

Website: tmucivil.ir

کانال ارتباطی: [@TMU_CivilEngineering](https://www.instagram.com/TMU_CivilEngineering)

تلفن: ۸۲۸۸۴۹۱۴

دورنگار: ۸۲۸۸۴۹۱۵

شماره تماس: ۰۹۳۵۲۹۸۱۵۱۱