بررسی عوامل مؤثر بر دوام و مقاومت بتن در سازه های هیدرولیکی

امیررضا سلیمی: کارشناس ارشد سازه های هیدرولیکی، دانشگاه پیام نور مرکزی
sghf.sghfarchitects@gmail.com

چکیده

سازه‌های هیدرولیکی نقش اساسی در سیستم اقتصادی کشور دارند و جزو سازه‌های استراتژیک محسوب می‌شوند و ضروری است از عملکرد و دوام مناسبی برخوردار باشند.از عوامل موثر بر دوام و کارایی این نوع سازه‌ها می‌توان به تاثیر نسبت آب‌به سیمان در مقاومت سایشی، تخلخل و نفوذپذیری بتن به کار رفته در ساخت آن‌ها وتاثیر افزودنی‌هادرطرح اختلاط بتن اشاره نمود. بنابراین ضروری به نظر می‌رسدکه با توجه به فناوری‌نوین این نوع از بتن‌ها، تحقیق و بررسی بیش‌تری بر روی آن‌ها و پارامترهای موثر بر دوام و مقاومت بتن صورت پذیرد. هدف از این پژوهش، شناخت مهم‌ترین عوامل موثر بر دوام و مقاومت بتن در سازه‌های هیدرولیکی همچون استفاده از الیاف در بتن، نانوسیلیس ها و میکروسیلیس ها، مقاومت سایشی، نفوذپذیری مقاومت در برابر کاویتاسیون و تخلخل بتن می باشد. روش تحقیق به صورت توصیفی-تحلیلی و در قالب بررسی متدهای عملکردی دوام و مقاومت بتن در سازه های هیدرولیکی می باشد. طبق این روش، پس از معرفی و بررسی هر کدام از عوامل مذکور، ویژگی های دو عامل استفاده از میکروسیلیس ها و الیاف بتنی در قالب جدول شماره(۵) جمع بندی گردید. سپس به هر کدام از ویژگی های برشمرده شده برای هر دو عامل، ضریب اهمیت در سازه های هیدرولیکی اختصاص یافت. نتایج حاصل از این مقایسه گواه این مطلب بود که استفاده از الیاف در بتن مصرفی در سازه های هیدرولیکی، از اهمیت و کارایی بیش تری نسبت به دیگر عوامل برخوردار است.

کلید واژگان: سازه های هیدرولیکی، مقاومت و دوام بتن، بتن الیافی، میکروسیلیس

مقدمه

بتن از سه عنصر اصلی شن و ماسه و سیمان تشکیل شده است. شن و ماسه به عنوان مصالح پرکننده محسوب شده و خمیر سیمان نقش اتصال بین این مصالح را به عهده دارد. این ماده ی ساختمانی دارای مزایا و معایبی ست که از جمله معایب آن، مقاومت کششی بسیار ناچیز می باشد که باعث شکست زود هنگام بتن در اثر اعمال نیروهای کششی می شود. مشکل کم بودن مقاومت کششی بتن را می توان با تسلیح توسط آرماتورهای فولادی برطرف نمود. وجود آرماتور در نواحی خاص کششی، بتن را از حالت همگن و یکنواخت خارج کرده و فرض همگنی بتن را در روش های آنالیز با اشکال مواجه می کند. از طرفی در بتن تازه به دلیل پدیده انقباض، ابعاد بتن تغییر پیدا کرده و ترک هایی به وجود می آیند که نتیجه این ترک ها در بتن، افزایش نفوذ پذیری، از بین رفتن سطح بتن، خوردگی آرماتورها وکاهش خواص مکانیکی می‌باشد(Design Consideration for SFRC,۱۹۹۱).افزایش مقاومت در مقابل سیکل های متوالی یخزدگی و آب‌شدگی و تر و خشک‌شدگی و بهبود جذب آب از ویژگی های مهم بتن های مسلح به الیاف شیشه‌ای و فولادی با پراکندگی تصادفی در سازه های مرتبط با آب، نظیر سازه‌های هیدرولیکی و مخصوصاً سازه‌های مرتبط با آب های املاح‌دار نظیر سازه‌های دریایی می‌باشد(کبیری سامانی و برقعی، ۱۳۸۳).

امروزه با پیشرفت وگسترش ساخت سازه های هیدرولیکی همانند سدها، مسئله دوام بتن بکار رفته در این نوع سازه ها اهمیت زیادی یافته است. در تولید بتن عواملی مانند حرارت، بخار، تخلیه هوا، فشار هیدرولیکی، قالب و... نقش بسزایی دارد. به طور کلی بتن محصولی است که طی فرآیندی در اثر واکنش آب با سیمان در شرایط محیطی خاصی تولید می شود و یکی از ویژگی های مهم آن، مقاومت فشاری می باشد. در صورتی که بتن در مقابل فشار وارده مقاومت نشان دهد مشخص می شود که از مرغوبیت بالایی برخوردار است (https://icrco.ir). این مشخصه مقاومت نیز توسط آزمایش های متنوعی صورت می گیرد و ابتدا روی نمونه‌های مکعبی و استوانه ای بتنی آزمایش شده که عمدتا فشار توسط نیرویی قائم و روی سطوح بالایی و پایینی که کاملا صاف هستند وارد می شود. میزان مقاومت بتن آن لحظه مشخص می شود که سازه خرد شود. البته لازم به ذکر است که می بایست مدت حداقل یک ماه از ساخت سازه بتنی گذشته باشد تا این آزمایش ملاک محاسبه قرار گیرد. از موارد موثر بر دوام بتن در این گونه سازه ها، مقاومت آن در برابر سایش، فرسایش و تخریب می‌باشد. برای بالا بردن مقاومت بتن، روش‌های مختلفی توسط محققان پیشنهاد و مورد بررسی قرار گرفته که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود؛ استفاده از سنگدانه های مقاوم در برابر سایش، کاهش نسبت آب به سیمان، استفاده از میکروسیلیس و نانوسیلیکا در بتن، عمل آوری مناسب و به موقع. لذا هدف از پژوهش حاضر مکاشفه عملکردهای مطرح در زمینه دوام و مقاومت بتن در سازه‌های هیدرولیکی و جمع بندی عوامل موثر بر مقاومت و دوام بتن (فشار هیدرولیکی، الیاف بتنی، نانوسیلیس ها و میکروسیلیس‌ها) در قالب یک طرح پژوهشی می باشد.

ضرورت و اهداف پژوهش

سازه های هیدرولیکی مانند سدها و سازه های آبی، سازه هایی با عمر بهره برداری طولانی هستند که به علت هزینه بالای تعمیرات، مسأله دوام در آن ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این بین فرسایش، سایش و ترک خوردگی مهم‌ترین عامل در کاهش دوام سازه های هیدرولیکی است در نتیجه مقاومت بتن اولین فاکتور در تعیین عمر سرویس یک سازه هیدرولیکی به حساب می‌آید. از آنجا که اکثر سازه های هیدرولیکی دارای بتن ریزی حجیمی می باشند، افزایش دمای بتن ناشی از واکنش هیدراتاسیون و هدایت حرارتی ضعیف بتن، سبب شده است که گرادیان حرارتی قابل توجهی میان مرکز و سطح خارجی سازه به وجود آید که سبب ایجاد تنش های ناخواسته در بتن می گردد. با توجه به اینکه بتن در سنین اولیه، دارای مقاومت کششی و فشاری بالایی نمی باشد، لذا تنش های مذکور قادرند تا سبب ایجاد و گسترش ترک در بتن شوند. با توجه به اهمیت سازه های هیدرولیکی حجیم و مخارج بالای ساخت آن ها و خسارات زیاد ناشی از تخریب آن ها لازم است علاوه بر تحلیل با ضریب اهمیت بالای سازه، تمرکز تنش در بتن مورد استفاده نیز بررسی گردد و از طریق اتخاذ تدابیری در هنگام تولید بتن، مقاومت فشاری، کششی و سایشی آن را ارتقا داد. در این پژوهش نیز جلوگیری از گسترش ترک در بتن سازه های هیدرولیکی به عنوان مقوله راهبردی پژوهش مورد توجه قرار گرفته است.

پیشینه پژوهش

در زمینه مقاومت و دوام سازه های هیدرولیکی، پژوهش های چندانی وجود ندارد و لذا در این بخش از پژوهش به موارد نزدیک به موضوع مورد نظر با تاکید بر سازه های هیدرولیکی اشاره می گردد؛

کبیری سامانی و برقعی(۱۳۸۳) در پژوهشی تحت عنوان" مقاوم سازی سازه های بتنی هیدرولیکی و دریایی در مقابل اثرات یخ زدگی و آب شدگی و تر و خشک شدن های متوالی و کاهش جذب آب با استفاده از الیاف فولادی و شیشه ای" نتایج تجربی آزمایش روی حدود ۳۰۰ نمونه بتن مسلح به الیاف فولادی و شیشه‌ای که تحت تأثیر سیکل های متوالی یخزدگی و آب‌شدگی و تر و خشک شدن های متوالی قرار گرفته‌اند را بررسی کردند که در آن، مقاومت نهایی نمونه‌ها و درصد جذب آب آن ها به عنوان معیارهایی برای مقایسهٔ بتن الیافی با بتن معمولی (نمونه‌های شاهد) مورد سنجش قرار گرفت. نتایج آزمایشات، بهبود مقاومت یخزدگی و آب‌شدگی و تر و خشک‌شدگی نمونه‌های بتن الیافی نسبت به نمونه‌های شاهد را نشان داده اند. در ضمن جذب آب بتن های الیافی نسبت به نمونه‌های شاهد کاهش یافته بود.

بارانی و همکاران (۱۳۸۶) پژوهشی را تحت عنوان" بررسی ترک های ناشی از هیدراتاسیون در سازه های هیدرولیکی" و با هدف تحلیل یک سازه هیدرولیکی دارای بتن ریزی حجیم در سنین اولیه به روش مکانیک شکست به انجام رسانده اند. در این راستا یک سرریز اوجی با در نظر گرفتن ترک هایی در محل های مختلف آن و زمان های متفاوت پس از بتن ریزی تحلیل شده و پس از محاسبه تنش های منطقه اطراف ترک، احتمال گسترش ترک در نقاط مختلف سازه و در ساعت های اولیه پس از بتن ریزی مورد بررسی قرار گرفت. مدل سازی سازه هیدرولیکی با استفاده از نرم افزار ANSYS انجام شد. برای محاسبه دقیق تنش ها در نوک ترک از روش مش بندی ویژه ای استفاده گردید و در نهایت با یافتن محل ها و زمان های حساس برای ایجاد و گسترش ترک، راه حل های مناسبی در جلوگیری از گسترش ترک پیشنهاد شده است.

عمرانیان و همکاران(۱۳۹۴) در پژوهش دیگری تحت عنوان"تاثیر افزودن الیاف فولادی بر مقاومت بتن در برابر فرسایش ناشی از سایش در سازه‌های هیدرولیکی" این گونه بیان می‌کنندکه دوام بتن سازه ای به طور ویژه در سازه های هیدرولیکی موضوعی با اهمیت است. یکی از آسیب هایی که دوام بتن سازه‌های هیدرولیکی از جمله سرریزها، کالورت ها و حوضچه آرامش را همواره تهدید می کند، فرسایش است. فرسایش ناشی از سایش که یکی از انواع فرسایش فیزیکی است در اثر اصطکاک و ضربه در جهت جریان با سرعت زیاد آب حاوی مواد جامد مانند شن، ماسه، یخ و غیره به سطح بتن در دراز مدت ایجاد می شود. از جمله عوامل تاثیر گذار در فرآیند سایش می توان به سرعت و زاویه برخورد جریان، مواد جامد همراه آب و کیفیت بتن مصرفی اشاره نمود.

همچنین فرهادی (۱۳۹۶) در پژوهشی تحت عنوان"محاسبات در سازه های هیدرولیکی، کاربردها و چالش ها؛ مطالعه موردی: سد های لاستیکی" ضمن اشاره به تامین آب به عنوان نیاز اساسی همیشگی بشر، مهار سیلاب ها و آب های جاری از طریق احداث سد را از عملیات های اساسی و زیر بنایی برای نیل به این مهم برمی‌شمرد. سد لاستیکی یک تکنولوژی و به عبارت دیگر یک تحول در ساخت سازه های هیدرولیکی به ویژه سدهای کوتاه است. قسمت اعظم سد لاستیکی از یک کیسه بزرگ لاستیکی تشکیل شده است که به وسیله پیچ های مهاری به سطح زیرین سد -که می تواند بستر رودخانه و یا تاج سدهای دیگر باشد- متصل می‌شود. این کیسه می تواند به وسیله آب یا هوا پر و خالی گردد و قابلیت انقباض و انبساط را دارا است.

روش تحقیق

روش تحقیق در پژوهش پیش رو از نوع کیفی و کاربردی بوده و داده های پژوهش به صورت توصیفی تحلیلی و از منابع اسنادی و کتابخانه ای جمع آوری شده‌اند. این پژوهش به بررسی عوامل موثر بر دوام بتن در سازه های هیدرولیکی و باز تعریف ویژگی هایی همچون مقاومت سایشی، نفوذپذیری و مقاومت در برابر کاویتاسیون پرداخته سپس تاثیر استفاده از الیاف در بتن سازه های هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفته و به جمع بندی مباحث مطرح در این زمینه می پردازد.

مبانی نظری پژوهش

قرارگیری بتن در معرض عوامل مخرب و انواع آسیب پذیری

بر حسب موقعیت قرارگیری سازه در آب دریا، می توان روش های تخریب بتن را به سه صورت زیر دسته بندی کرد؛

الف) بتن هایی که بالاتر از جزر و مد قرار گرفته و در معرض آب نیستند؛ این بتن ها در معرض جریان هوایی هستند که نمک های دریا در آن وجود دارد. جریان هوایی که روی این قسمت بتن اثر می گذارد، ممکن است به خوردگی آرماتور بتن منجر گردد.

ب) بتن هایی که در ناحیه جزر و مد قرار گرفته اند؛ می توان تحت تاثیر تر و خشک شدن متناوب، خوردگی آرماتور، واکنش های شیمیایی که باعث از بین رفتن محصولات هیدراتاسیون می شوند و فرسایش ناشی از برخورد امواج و ماسه قرار گیرند.

ج) قسمتی از سازه بتنی که زیر خط جزر و مد قرار دارد؛ برای انجام واکنش‌های شیمیایی آمادگی کامل دارد ولی نسبت به خوردگی فولاد کمتر آسیب می‌بیند (https://icrco.ir).

عوامل موثر بر مقاومت بتن

مقاومت فشاری یکی از المان های مقاومت بتن است. همانطور که می دانیم واکنش بتن نسبت به فشار وارد شده تحت تاثیر کنش های پیچیده باشد ولی برای درک ساده‌تر این موضوع، می توان عوامل موثر بر مقاومت سازه بتنی را مطابق جدول (۱) در سه دسته، طبقه بندی نمود.

جدول۱- عوامل موثر بر مقاومت بتن (https://icrco.ir)

شاخص	توضیحات
خاصیت و ویژگی های مصالح به کار رفته در بتن	تعیین نسبت درستی از مصالحی که برای ساخت بتن مورد استفاده قرار می گیرد و استفاده از متریال مرغوب عامل موثری در افزایش مقاومت بتن است.
فرآیند عمل آوری بتن	این فرآیند خود شامل سه پارامتر مدیریت زمان، درجه حرارت مناسب و رطوبت می شود.
شرایط آزمایشگاهی موثر در مقاومت بتن	پارامتر های این بخش شامل اندازه نمونه مورد نظر، رطوبت و هندسه است. در واقع گاهی ممکن است که نتیجه آزمایش دستخوش تاثیر عوامل آزمایش قرار بگیرد و این سبب غیر واقعی بودن نتیجه گردد.

تاثیر فشار هیدرولیکی بر روی مقاومت بتن

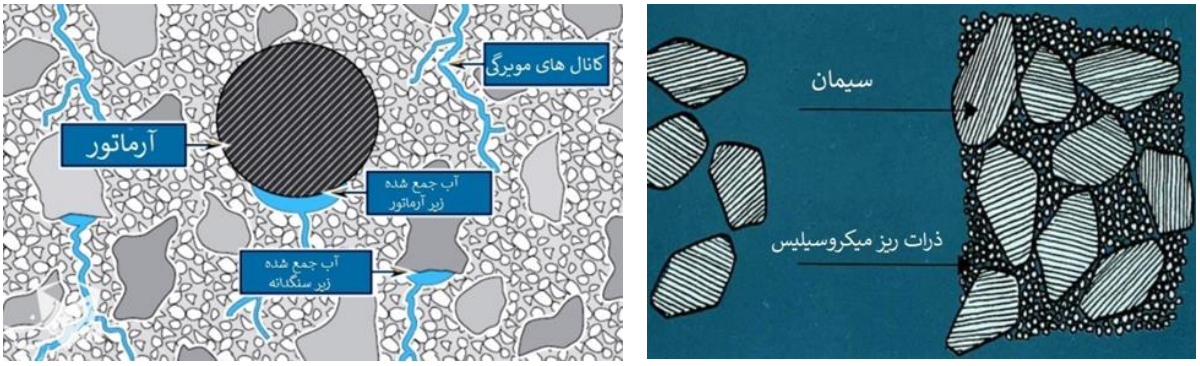
به عنوان یک مثال ملموس از تاثیر فشار هیدرولیکی بر روی مقاومت بتن، می توان به پدیده ترک خوردگی سدهای بتنی اشاره کرد که خود می تواند ناشی از عوامل متعددی از جمله خوردگی آرماتورها در بتن باشد. خوردگی آرماتورها در بتن ناشی از نفوذ رطوبت و حضور اکسیژن به همراه کلر یا کربناسیون می باشد. یکی از متداول ترین آسیب ها در این زمینه، ترک خوردگی پاشنه سد است که در پی فشار هیدرولیکی سبب تنش های کششی شده است. از سوی دیگر پیشروی این دسته از ترک ها روی سازه های هیدرولیکی زمانی تسریع می شود که ترک خوردگی تاثیر قابل ملاحظه ای بر روی میدان تنش در اطراف ترک داشته باشد. توزیع فشار آب در ترک به وجود آمده نیز از عواملی است که حتما باید مورد بررسی قرار گیرد. مقاومت بتن در برابر فشاری که به آن وارد می شود نه تنها مرتبط با نوع تنشی است که به متریال بتنی وارد شده است، بلکه به چگونگی ترکیب موادی که موثر در ایجاد تخلخل اجزای بتنی می شود نیز بستگی دارد (میری و همکاران، ۱۳۹۳).

شکل۱- ترک خوردگی بتن-منبع: www.icrco.ir

استفاده از میکروسیلیس در مخلوط بتن

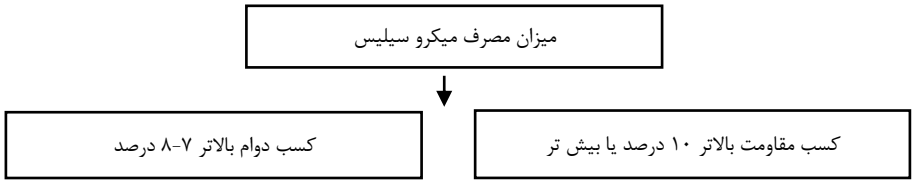
افزودن میکروسیلیس به مخلوط بتن باعث می‌گردد Sio_2 فعال آن با محلول هیدروکسید کلسیم $Ca(OH)_2$ آزاد موجود در منافذ موئین بتن ترکیب گردد و کریستال سیلیکات کلسیم نامحلول تولید نماید و در نهایت باعث تراکم ساختار خمیر سیمان گردد. خاصیت سیمانی و پوزولانی به دست آمده از اختلاط میکروسیلیس، ترکیبات جدیدی از C-S-H تولید و بافت مستحکم‌تری فراهم کرده که منجر به مقاومت بالاتر می‌شوند و همچنین به دلیل نرمی زیاد، تمام حفره‌های میکروسکوپی خمیر سیمان را پرکرده و بتن کاملا توپری فراهم می‌شود که منجر به دوام بالاتر می‌گردد. نتایج پژوهش ها نشان می‌دهد که استفاده از میکروسیلیس جایگزین سیمان باعث افزایش مقاومت فشاری بتن نسبت به نمونه های بدون میکروسیلیس شده است (مشرف دربان و همتی، ۱۳۹۵). از جمله موارد مصرف آن به شرح ذیل است؛

- اجرای بتن در سواحل دریا، اسکله ها و پل ها
- ساخت بتن های با مقاومت و خواص مکانیکی بالا
- ساخت بتن سدها، کانال ها، تونل ها، مخازن و منبع آب
- کف سازی و نماسازی
- ساخت بتن های در معرض خوردگی
- استفاده در کلیه المان های سازه ای
- تولید بتن متراکم و نفوذ ناپذیر.



شکل۲-کارکرد میکروسیلیس در عملکرد و دوام بتن. منبع:https://salmanco.com)

به طور کلی اثرات استفاده از میکروسیلیس در بتن را می توان در کاهش نفوذپذیری، افزایش مقاومت فشاری و خمشی و کششی، افزایش مقاومت بتن در برابر فرسایش، جلوگیری از نفوذ یون کلر، سولفات ها و سایر مواد شیمیایی مخرب به داخل بتن، کاهش حرارت هیدراتاسیون، تاخیر در واکنش قلیایی دانه ها، تاثیر کمتر سیکل یخ و ذوب آب و افزایش پیوستگی بتن خلاصه نمود (همان). همچنین استفاده از میکروسیلیس موجب مسدود شدن کانال‌های مویرگی تعریق بتن میگردد.



شکل۳-نمودار مصرف میکروسیلیس در بتن (منبع: نگارنده)

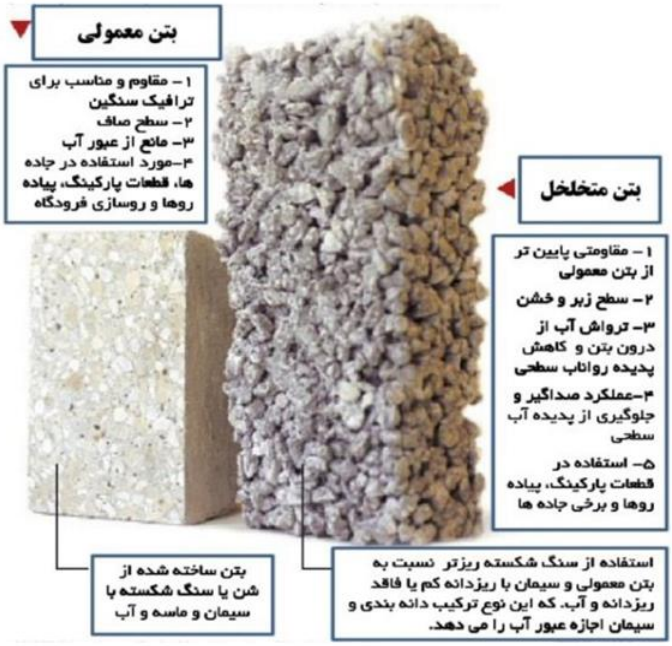
نفوذپذیری و مقاومت سایشی بتن

فرسایش و سایش عموماً در اثر دو عامل اصطکاک و ضربه مواد معلق درآب شامل لای، ماسه، شن، قلوه سنگ، یخ و خار و خاشاک به وجود می‌آید. یکی از موارد موثر بر دوام بتن در این گونه سازه ها، مقاومت آن در برابر سایش ناشی از برخورد ذرات حمل شده توسط آب می باشد. برای بالابردن مقاومت سایشی بتن، روش‌های مختلفی توسط محققان پیشنهاد و مورد بررسی قرار گرفته که از جمله آن ها می توان به موارد زیر اشاره نمود؛

جدول۳-روش های بالا بردن مقاومت سایشی بتن (منبع: نگارنده)

استفاده از سنگدانه های مقاوم در برابر سایش
کاهش نسبت آب به سیمان
استفاده از میکروسیلیس و نانوسیلیکا در بتن
عمل آوری مناسب و به موقع

به دلیل مزایای فراوان به ویژه فواید زیست محیطی بتن نفوذپذیر استفاده از آن در انواع زیرساخت ها از جمله روسازی های در معرض ترافیک سبک و همچنین لایه روکش روسازی های در معرض ترافیک سنگین به ویژه در مناطق با بارندگی زیاد، رو به افزایش است. مقاومت سایشی که آزمایشی بر روی سطح رویه بتن است طبق تعریف کمیته ACI ۲۰۱ توانایی مقابله روسازی در برابر سایش و اصطکاک ناشی از تماس چرخ وسایل نقلیه، لغزش، بار سنگین کامیون ها و سایش رویه توسط سایر مواد است (Ytterburg, ۱۹۷۱).



شکل۴-مقایسه بتن معمولی در مقابل بتن متخلخل (منبع: شیرگر و همکاران،۱۳۹۴)

بنابراین در کاربرد وسیع این نوع از بتن، تقاضای بتن نفوذپذیر با مقاومت و دوام بالا رو به افزایش خواهد بود. متاسفانه به دلیل تخلخل بالا و مقدار کم ملات سیمان، بتن نفوذپذیر در مقایسه با بتن معمولی از مقاومت کمتری برخوردار است(Chen,et al.۲۰۱۳). بتن نفوذپذیر شامل ترکیبی از یک مقدار کنترل شده از خمیر سیمان، دانه بندی سنگدانه با اندازه ذرات یکنواخت و توزیع بار یک اندازه ذرات، با ماسه بسیار اندک و در شرایطی بدون ماسه است(Chen and Zhang, ۲۰۰۹ and Marolf, et al.۲۰۰٤ and Park, Seo and Lee, ۲۰۰۵).

خمیر سیمان به صورت یک پوشش ضخیم، سطح مصالح سنگدانه ای را می پوشاند و این پوشش باعث اتصال سنگدانه ها به یکدیگر و در نهایت ایجاد یک شبکه متصل به هم از حفرات بین سنگدانه ای (حدود ۱۵ الی ۲۵درصد)را به دنبال خواهد داشت. در نتیجه این نوع بتن دارای نفوذپذیری بسیار زیادی تا ۲۰cm/min خواهد شد (Ytterburg, ۱۹۷۱).

نتایج آزمایشات سایش نشان داده اند که با کاهش نسبت آب به سیمان از ۰/۵۰ به ۰/۳۳ مقاومت سایشی به میزان ۳۰/۹۴ درصد بهبود می یابد. نتایج آزمایشات نفوذپذیری، نشان دادند که با کاهش نسبت آب به سیمان از ۰/۵۰ به ۰/۳۳ ضریب هدایت هیدرولیکی بتن از ۱۵-۱۰ ×۳۹/۸۸ متر بر ثانیه به ۱۵-۱۰×۲/۴۹ متر بر ثانیه کاهش می یابد و تخلخل بتن از ۱۳/۹۰ درصد به ۱۳/۱۰ درصد کاهش پیدا می کند. از مجموع نتایج فوق می توان پی برد که کاهش نسبت آب به سیمان باعث افزایش مقاومت سایشی و همچنین کاهش ضریب هدایت هیدرولیکی و تخلخل بتن میکروسیلیسی خواهد شد (شمسایی و همکاران،۱۳۹۲).

تاثیر استفاده از الیاف بتنی در سازه هیدرولیکی و مقاومت در برابر کاویتاسیون

بررسی ها نشان می‌دهد که تفکر استفاده از الیاف، از روزگاران باستان وجود داشته است. مصریان قدیم از کاه برای مسلح کردن آجرهای گلی استفاده می‌کردند. همچنین الیاف پنبه نسوز برای مسلح کردن رس استفاده می شده و علاوه بر این، موی اسب نیز برای تسلیح کاربرد داشته است. در سال های اخیر نیاز به طراحی سازه های بتنی با شرایط پیچیده تر، استفاده از مصالح و روش های جدید برای مسلح نمودن بتن را گسترش داده و یکی از روش های نوین مسلح سازی، استفاده از الیاف است. استفاده از الیاف در بتن از حدود ۵۰ سال پیش آغاز و روز به روز بر کاربردشان در زمینه های مختلف افزوده شده است. افزودن الیاف به طرح اختلاط، باعث بهبود خواص مکانیکی بتن و رفتار سازه پس از ترک خوردگی می گردد. همچنین الیاف شکل پذیری بتن را افزایش می دهد. بطور کلی از بتن مسلح به الیاف می توان انتظار ارتقای پارامترهای مرتبط با ضرایب باربری نظیر مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی، مقاومت برشی و همچنین مقاومت در برابر خزش، سایش، کاویتاسیون و فرسایش را داشت.

کاویتاسیون به فرآیند تولید حباب و خلا در داخل چرخه ها و یا توربین های آبی گفته می شود که به دلیل اختلاف فشار ایجاد می شوند. این حباب ها وقتی به سطح پر فشار می رسند، ترکیده و باعث ضربه زدن و تخریب سازه می شوند. استفاده از بتن الیافی می تواند این ضربه ها را به خوبی کنترل نماید.

الیاف با زدن پل بین ترک ها، یکپارچگی بتن را در تغییر شکل های زیاد حفظ می کند (خالو، ۱۳۷۸). هدف از کاربرد الیاف در بتن، افزایش میزان جذب انرژی بتن و کنترل گسترش ترک می باشد تا قطعه بتنی بتواند در مقابل بارهای وارده در یک مقطع ترک خورده، تغییر شکل های بیش تری را پس از ایجاد اولین ترک تحمل نماید. بتن مسلح به الیاف متعدد در سال های اخیر در سازه هایی چون روسازی راه ها و فرودگاه ها، پی های عظیم با تغییر شکل های زیاد و به ویژه در سازه های هیدورلیکی به کار رفته است (Banthia and Sappakittipako,۲۰۰۷). از انواع الیاف مورد استفاده در بتن می توان به موارد ذیل اشاره کرد؛

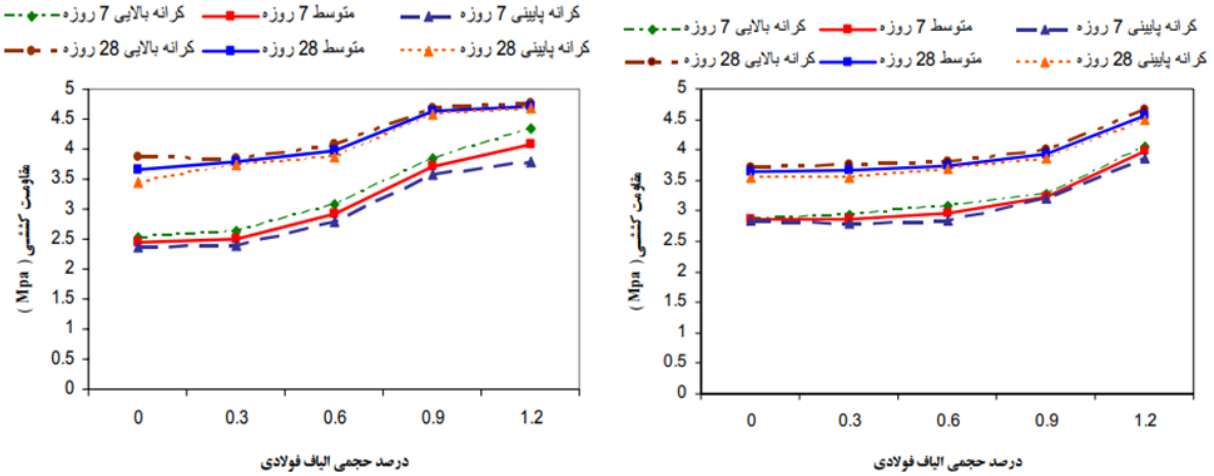
جدول۴- انواع الیاف مصرفی در بتن- منبع: www.clinicbeton.ir

نوع الیاف	توضیحات
الیاف فولادی	یکی از الیاف پر کاربرد در بتن بوده و ابعاد آن به این شرح است: قطر از ۰.۸ الی ۱ میلی متر و طول ۵ الی ۶ سانتی متر
الیاف پلی پروپیلن	این الیاف پلیمری می تواند به راحتی ترک های زیر سطحی را از بین برده و حالت شکل پذیری را در بتن به وجود آورد
الیاف شیشه ای	که به آن فایبر گلاس گفته می شود و به دلیل شکل پذیری و پایداری نسبتا بالایی که دارد امروزه کاربردهای زیادی بخصوص در نما و ستون های ساختمان دارد

در واقع استفاده از بتن الیافی می تواند در ساخت و یا تعمیر سدها و هرگونه سازه هیدرولیکی مورد استفاده قرار گیرد که به وسیله آن می توان مقاومت سازه را در برابر کاویتاسیون و همچنین در برابر خوردگی های جدی که بر اثر ضربه های حجم آب به وجود می آید، افزایش داد.

شکل۵- بتن الیافی- منبع: www.henza.net

با پیروی از مطالعات "وظیفه خواه و مناف پور" در سال ۱۳۸۹، مقاومت کششی بتن در سنین ۷ و ۲۸ روزه برای اندازه های مختلف با کرانه های بالایی و پایینی (حداکثر و حداقل نتیجه بدست آمده از آزمایش) و همچنین میانگین آن ها به ازای درصدهای حجمی مختلف الیاف فولادی، در شکل های ۶ و ۷ نشان داده شده است.



شکل۶-سمت راست: مقاومت کششی۷ و ۲۸ روزه نمونه استوانه ای۱۵۰×۷۵mm و سمت چپ: مقاومت کششی۷ و ۲۸روزه نمونه منشوری شکل ۱۰۰×۱۰۰×۵۰۰mm (وظیفه خواه و مناف پور، ۱۳۸۹)

تحلیل یافته های پژوهش

مطابق شکل (۷) بیش ترین بازه تغییرات مقاومت کششی برای نمونه استوانه ای ۱۵۰×۳۰۰ mm در سن ۷ روزه برابر ۸/۴ ٪ و در سن ۲۸ روزه ۶/۲ ٪ می باشد. در نمونه استوانه ای ۷۵ ×۱۵۰ بیش ترین بازه تغییرات مقاومت کششی مطابق شکل (۶) در سن ۷ و ۲۸ روزه به ترتیب برابر ۱۱/۲ ٪ و ۷/۴ ٪ می باشد. همچنین در آزمایش خمش که برای تعیین مقاومت کششی نمونه منشوری شکل ۵۰۰ ×۱۰۰×۱۰۰ انجام شده است، بیش ترین مقدار تغییرات مقاومت کششی در سن ۷ و ۲۸ روزه به ترتیب ۷/۹ ٪ و ۳ ٪ می باشد. در بررسی کاربرد بتن های الیافی آنچه مطرح شد و نتایج حاصله گواه این مطلب است که مقاومت کششی بتن با الیاف فولادی از افزایش قابل ملاحظه ای نسبت به بتن بدون الیاف برخوردار بوده و همچنین با افزایش نسبت الیاف، مقاومت کششی نیز افزایش یافته و سرعت این افزایش مقاومت در ۷ روز اول بیش تر می باشد. همچنین مقاومت کششی بتن مسلح به الیاف فولادی با افزایش درصد حجمی الیاف از ۰ ٪ به ۰/۳ ٪ و از ۰/۳ ٪ به ۰/۶ ٪ عمدتا به مقدار کمی افزایش پیدا می کند ولی با افزایش درصد حجمی الیاف از ۰/۶ ٪ به ۰/۹ ٪ و از ۰/۹ ٪ به ۱/۲ ٪ شاهد افزایش محسوس مقاومت کششی در همه نمونه ها خواهیم بود.

مطابق جدول (۵)، ویژگی های تاثیرگذار استفاده از میکروسیلیس و الیاف در بتن مورد جمع بندی قرار گرفته و سپس به هر یک از آن ها ضریبی بر اساس میزان اهمیت در سازه های هیدرولیکی، نسبت داده شد. مطابق جدول زیر، مقاومت در برابر فرسایش، مقاومت در برابر خوردگی ناشی از ضربه، کنترل گسترش ترک های اولیه و مقاومت فشاری از بیش ترین اهمیت در سازه های هیدرولیکی برخوردارند.

جدول۵- تاثیر استفاده از میکروسیلیس و الیاف در بتن در سازه های هیدرولیکی- منبع: نگارنده

شاخص	ویژگی ها	ضریب اهمیت در سازه های هیدرولیکی
استفاده از میکروسیلیس	افزایش مقاومت فشاری	۰.۸
	کاهش نفوذپذیری	۰.۶
	افزایش مقاومت در برابر فرسایش	۰.۹
	کاهش حرارت هیدراتاسیون	۰.۴
	مسدود شدن کانال‌های مویرگی تعریق بتن	۰.۲

	تاثیر کمتر سیکل یخ و ذوب آب	۰.۱
بتن الیافی	مقاومت در برابر کاویتاسیون	۰.۵
	یکپارچگی در برابر تغییر شکل های زیاد	۰.۲
	مقاومت در برابر خوردگی ناشی از ضربه های حجم آب	۰.۹
	کنترل گسترش ترک های اولیه	۰.۸
	ارتقای پارامترهای ناشی از ضرایب باربری (خمش، برش، کشش)	۰.۷
	افزایش مقاومت سایشی	۰.۷

نتیجه گیری

پس از بررسی عوامل مختلف موثر بر دوام و مقاومت بتن در سازه های هیدرولیکی، دو روش استفاده از "میکروسیلیس" و به کار بردن "الیاف در بتن"، به عنوان دو عامل مهم، مورد بررسی دقیق تر قرار گرفته سپس ویژگی های مهم هر یک در قالب جدول (۵) جمع بندی گردید. مجموع ضرایب اهمیت "استفاده از میکرو سیلیس" برابر ۳ و "بتن الیافی" برابر ۳.۸ بوده و گواه این مسئله است که از میان روش های مختلف موثر بر دوام و مقاومت بتن، استفاده از الیاف در طرح اختلاط بتن از اهمیت و کارایی بالاتری برخوردار می باشد. از دیگر نتایج پژوهش می توان به موارد زیر اشاره نمود؛

کاهش نسبت آب به سیمان باعث افزایش مقاومت سایشی و همچنین کاهش ضریب هدایت هیدرولیکی و تخلخل بتن میکروسیلیسی خواهد شد.

مقاومت کششی بتن با الیاف فولادی نسبت به بتن بدون الیاف افزایش قابل ملاحظه ای نموده و سرعت این افزایش مقاومت در ۷ روز اول بیش تر می باشد.

همچنین با توجه به موارد مطرح شده در مورد بتن های نفوذپذیر، مواد و مصالح مورد استفاده جهت ساخت بتن نفوذپذیر مشابه بتن معمولی است با این تفاوت که در بتن نفوذپذیر، درصد ریزدانه مصرفی پایین می باشد.

منابع

۱. بارانی، غ؛ خانجانی، م و پور رمضان، م. (۱۳۸۶). بررسی ترک های ناشی از هیدراتاسیون در سازه های هیدرولیکی، سومین کنگره ملی مهندسی عمران، تبریز.

۲. شمسایی، ا ؛ نجارچی، م؛ پیروتی، ص ؛رحمانی،ک. (۱۳۹۲). تاثیر نسبت آب به سیمان در مقاومت سایشی، تخلخل و نفوذپذیری بتن های میکروسیلیسی، نشریه آنالیز سازه -زلزله، سال دهم شماره اول.

۳. شیرگر، ب؛ علیزاده گودرزی، ه و شیرگر، و. (۱۳۹۴). بررسی آزمایشگاهی تأثیر افزودنی نانوسیلیس بر مقاومت سایشی بتن نفوذپذیر در روسازی. مهندسی حمل و نقل، سال هشتم، شماره دوم.

٤. خالو، ع. (۱۳۷۸). رفتار و کاربردهای بتن الیافی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس تکنولوژی بتن الیافی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

٥. عمرانیان، ع؛ چمنی، م و افتخار، م. (۱۳۹۴). تاثیر افزودن الیاف فولادی بر مقاومت بتن در برابر فرسایش ناشی

٦. از سایش در سازه های هیدرولیکی، سومین کنفرانس بین المللی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران.

۷. فرهادی، ا. (۱۳۹۶). محاسبات در سازه های هیدرولیکی، مطالعه موردی: سدهای لاستیکی، کاربردها و چالش ها، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و شهرسازی ایران معاصر، تهران.

۸. کبیری سامانی، ع و برقعی، م. (۱۳۸۳). مقاوم سازی سازه های بتنی هیدرولیکی و دریایی در مقابل اثرات یخ زدگی و آب شدگی و تر و خشک شدن های متوالی و کاهش جذب آب با استفاده از الیاف فولادی و شیشه ای، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران.

۹. مشرف دربان، م و همتی، ع. (۱۳۹۵). بررسی تأثیر میکروسیلیس بر مقاومت فشاری بتن با عیارهای مختلف، دومین کنفرانس بین المللی یافته های نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران.

۱۰. میری، م؛ میری، ف و شاه حیدری، ح. (۱۳۹۳). بررسی تاثیر مقاومت فشاری بتن بر فشار ترک خوردگی در سازه های بتن آرمه با استفاده از روش های عددی، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، بابل.

۱۱. مناف پور، ع و وظیفه خواه، ن. (۱۳۸۹). بررسی آزمایشگاهی مقاومت کششی بتن با الیاف فولادی، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران.

۱۲. Banthia.N, Nadakumar.N, “Crack growth resistance of hybrid fiber cement composite”, cement and concrete composite, ۲۰۰۳:۳-۹.

۱۳. Chen, B., Liu, J.,and Li, P. (۲۰۰۸)"Experimental Study on Pervious Concrete", Proceeding of the ۹thInternational Conference On Concrete Pavements, San Francisco, California; pp. ۱۷–۲۱.

۱٤. “Design Consideration for SFRC”, Reported by ACI Committee ٤٥٥, ۱۹۹۱, pp. ٤٦٥-٤١٥.

۱٥. Ytterburg, R..(۱۹۷۱)"Wear-Resistant Industrial Floors of Portland Cement Concrete", Civil Engineering -ASCE, Vol. No. ٤١(۱), pp. ٦٨-٧١.

۱٦. Chen, Y. and Zhang, Q., (۲۰۰۹) "Manufacturing Technology of Porous Cement Concrete for Highway Construction”, Road Pavement Material Characterization and Rehabilitation; Vol. ۱۹۱, pp. ۲۲-۳۳.

۱۷. www.henza.net

۱۸. www.icrco.ir

۱۹. www.salmanco.com

۲۰. www.clinicbeton.ir