Archive of SID

تبیین روش های موثر در ترمیم و مراقبت از سازه های هیدرولیکی در جهت سلامت و کارایی بهتر سازه

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

چکیده

ترمیم و مراقبت مداوم از سازه های هیدرولیکی به دلیل خطر افزایش آسیب ها و بروز حوادث جانی و مالی سنگین از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف از این پژوهش ارائه راهکارهایی مناسب برای ترمیم و نگهداری سازه های هیدرولیکی می‌باشد که به وسیله این روش‌ها بتوان تا حد امکان عمر مفید این سازه ها را افزایش داد و یا بعضا از تخریب آن‌ها جلوگیری کرد. به منظور تحقق این هدف، پس از انجام مطالعات کتابخانه ای و به شیوه کیفی و توصیفی، ابتدا به بیان علل آسیب دیدگی سازه های هیدرولیکی پرداخته شده سپس به دنبال تبیین راهکارها و روش های نوین افزایش کارایی سازه های هیدرولیکی، راهکارهای مذکور در دو دسته روش های پیشگیری از آسیب (تقویت سازه در حین اجرا) و روش های ترمیم و مراقبت (پس از پایش دوره ای) طبقه بندی شده است. در همین راستا به معرفی متریال های نوین آب بندی و ترمیم ترک های موضعی همچون پوشش نفوذگر کریستال شونده Aquafin IC ، الیاف و رزین اپوکسی ها، ژئوتکستایل، واتر استاپ ها، عایق های اکرلیک، مشتقات نفتی و بتن های پلیمری پرداخته شده و ویژگی های هر یک از آن ها مورد بررسی قرار گرفته است. از میان ویژگی های متعدد مورد بررسی، به موارد پر تکرار و مشترک بین روش های مذکور (امکان قرارگیری مداوم در معرض رطوبت، شکل پذیری و انعطاف، سازگاری با محیط زیست، مقاومت در برابر کربوناسیون و چسبندگی سطحی بالا) ضریب اهمیت بالاتری اختصاص یافته و در قالب جدول ۶ جمع بندی شده است. سپس مجموع ضرایب اهمیت هر کدام از روش ها و متریال های مورد اشاره (بر اساس شاخص های مهم مذکور) محاسبه شده و نتایج حاصل از بررسی، بر استفاده از رزین اپوکسی و استفاده از واتر استاپ ها به عنوان کارآمدترین روش های تقویت، ترمیم و مراقبت از سازه های هیدرولیکی دلالت دارد.

واژگان کلیدی: سازه‌های هیدرولیکی،سلامت سازه، ترمیم، نگهداری، کارایی سازه

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

با توجه به اینکه سازه های هیدرولیکی در معرض بارهایی علاوه بر آنچه که برای آن طراحی شده اند (مانند بار ناشی از عوامل جوی نامساعد و طوفان های مخرب) قرار می گیرند، کنترل متناوب و رفع آسیب های جزئی آن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. با استفاده از یک سیستم پایش سلامت سازه، اطلاعات قابل اعتماد از سازه کسب شده و نقص های سازه ای در مراحل اولیه ی رشد آسیب، تشخیص داده می شود. تشخیص زودهنگام نقص ها از طریق سیستم پایش سلامت موجب کاهش هزینه های نگهداری و جلوگیری از وقوع فاجعه شکست سازه خواهد شد (ملازاده و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به روند رو به رشد فناوری در زمینه سازه های هیدرولیکی که اکثراً بتن در آن‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای دارد، توجه به بعد ترمیم و مراقبت بیش‌ازپیش احساس می‌شود. سیستم خود ترمیمی بتن، نوعی الگوبرداری از سیستم دفاعی بدن موجودات زنده در ترمیم قسمت‌های آسیب‌دیده است. به‌طوری‌که سازه های بتنی نیز با کمک مصالحی بتوانند همچون نمونه های زیستی، پس از بروز آسیب به شناسایی و ترمیم خویش بپردازند. آسیب‌های وارده برسازه های هیدرولیکی و همچنین نوع دستگاه های باربری سازه‌های هیدرولیکی بر نحوه و تعیین نوع ترمیم ها بسیار تاثیر گذار است (Müller et all ,2008). کاربرد چنین مصالح هوشمندی برای سازه های مهم از جمله سازه های فضایی، سازه های زیرزمینی، زیرآبی یا مخازن ذخیره مایعات، به دلیل دسترسی بسیار محدود و دشوار، سیستم نظارت و هزینه های گزاف ترمیم و تقویت، بسیار حائز اهمیت خواهد بود. (توفیق،۱۳۹۴).

ترمیم و مراقبت مداوم از سازه های هیدرولیکی به دلیل خطر افزایش آسیب ها و بروز حوادث جانی و مالی سنگین از اهمیت بالایی برخوردار است. این پژوهش به دنبال تبیین راهکارها و روش های نوین افزایش کارایی سازه های هیدرولیکی، پس از آسیب شناسی این سازه ها، راهکارهای مذکور را در دو دسته روش‌های پیشگیری از آسیب (تقویت سازه در حین اجرا) و روش های ترمیم و مراقبت (پس از پایش دوره ای) طبقه بندی نموده است. در همین راستا به معرفی متریال‌های نوین آب بندی و ترمیم ترک های موضعی همچون پوشش نفوذگر کریستال شونده Aquafin IC ، الیاف و رزین اپوکسی ها، ژئوتکستایل، واتر استاپ ها، عایق های اکرلیک، مشتقات نفتی و بتن های پلیمری پرداخته شده و ویژگی های هر یک از آن ها مورد بررسی قرار گرفته است. از مهم ترین ویژگی های آن ها به منظور افزایش کارایی سازه های هیدرولیکی می توان به چسبندگی سطحی بالا تحت تنش های محیطی، امکان قرارگیری مداوم در معرض رطوبت و تقویت خواص خود ترمیمی در بتن اشاره نمود.

بیان مسئله

بسیاری از سازه های هیدرولیکی موجود در کشور، از جمله سد هایی که در سال های بعد از ۱۳۸۰ در ایران ساخته شده‌اند، سدهای خاکی می‌باشند. سدهای خاکی در اجزا و تأسیسات وابسته خود از بتن و مواد و الیاف بتنی استفاده می کنند که این امر در سرریزها و گالری‌ها بیشتر دیده می‌شود. حال آن که علیرغم تعدد این قبیل سازه ها در کشور و صرف هزینه های بالا برای ساخت آن ها، شیوه های مدونی برای پیشگیری از آسیب، ترمیم و مراقبت از آن ها وجود ندارد. گرچه در مرحله طراحی سدها و تأسیسات وابسته، دقت مضاعف و ضریب اطمینان کافی در نظر گرفته می‌شود، اما به علت مشکلات اجرایی و گاها بی‌دقتی های حاصل از اجرا، همواره معضلات عدیده‌ای در بخش‌هایی از سازه مشهود است و یا ممکن است شرایط نامناسب بهره برداری، آسیب‌هایی را بر سازه های هیدرولیکی وارد آورد. لذا موضوع مورد توجه در این نوشتار، مراقبت از سلامت سازه در حین ساخت و بعد از آن بوده و نگرش کلی این پژوهش بر مبنای این نکته که همواره نگهداری و پیشگیری مقدم بر درمان است، استوار می باشد. این پژوهش در پی یافتن پاسخ این مسئله خواهد بود که از میان روش های متعدد ترمیم و مراقبت از سازه های هیدرولیکی، کدامیک کارا تر و مناسب تر بوده و به این منظور، مهم ترین این روش ها بررسی و مورد مقایسه قرار گرفته اند.

ضرورت و اهداف پژوهش

سازه‌های هیدرولیکی به علت نزدیکی به محدوده رطوبت همیشه در معرض آسیب‌های جدی قرار دارند و از این رو جزو سازه های پرخطر محسوب می‌گردند. به همین جهت در زمان بهره برداری و ساخت این سازه ها، نیازمند شرایط مناسب برای نگهداری می‌باشند. لذا با توجه به شرایط سخت این سازه‌ها بایستی راهکارهای کنترلی برای حفاظت از این سازه ها پیش‌بینی گردد که به صورت متناوب، سلامت و کارایی بهتر سازه را فراهم نموده و در صورت بروز آسیب‌های‌کلی و جزئی اعم از ترک‌خوردگی بدنه سازه، آسیب‌دیدگی تأسیسات مربوط به سازه و... اقدامات لازم برای جلوگیری از حاد شدن محل آسیب دیده انجام شود. ترمیم و مراقبت سازه‌های هیدرولیکی مانند سدها و سازه های عظیم، نیازمند دقت عمل بالایی ست چرا که همواره خطر بروز حوادث از جانب آن ها احساس می‌شود و در صورت آسیب دیدن این‌گونه سازه ها ممکن است صدمات جبران ناپذیری بر جان افراد وارد گردد. همچنین از آنجا که برای ساخت این سازه ها هزینه های زیادی صرف می‌شود، در صورت آسیب‌دیدگی خسارات جبران ناپذیری به بار خواهد آورد. از طرف دیگر، مزمن بودن یک آسیب جزئی در سازه های هیدرولیکی، میزان خسارات و آسیب ها را به صورت تصاعدی و غیرخطی افزایش می دهد لذا کنترل و مراقبت دائمی از آن ها امری ضروری می باشد.

هدف از این پژوهش، تبیین راهکارهای ترمیم و مراقبت سازه های هیدرولیکی می‌باشد که به وسیله این روش‌ها بتوان تا حد امکان عمر مفید این سازه ها را افزایش داد و یا بعضا از تخریب آن‌ها جلوگیری کرد. در بدنه تحقیق، مهم ترین روش های آب بندی به منظور پیشگیری و ترمیم ترک ها به منظور رفع زود هنگام آسیب‌های این سازه ها مورد بررسی قرار گرفته است.

پیشینه پژوهش

تاکنون پژوهش های بسیاری بر روی ویژگی ها و آسیب های بتن صورت گرفته و راهکارهایی نیز برای رفع آسیب ها و استفاده حداکثری از ویژگی های مثبت بتن ارائه شده است. ولیکن تعداد کمی از این پژوهش ها با نگاه به سازه های هیدرولیکی و محدودیت های پیش فرض این قبیل سازه ها صورت پذیرفته است. در پژوهشی‌که توفیق(۱۳۹۴) انجام داده است، به‌کاربرد تکنولوژی نانو در ساخت بتن خودترمیم شونده پرداخته شده که در آن به واسطه استفاده از سنگدانه های هوشمند و سیمان بهبود یافته، امکان دستیابی به بتنی نفوذ ناپذیر با خاصیت خود ترمیمی مورد بررسی قرار می گیرد که به منظور استفاده در شرایط نامناسب (محیط های کلرید و یا سولفاته) و یا در سازه های حساسی چون سازه های هیدرولیکی بسیار مناسب است. همچنین ملازاده و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی به شیوه‌های نوین شناسایی آسیب جهت مراقبت و کنترل سازه های هیدرولیکی پرداخته و روش های مبتنی بر فرکانس طبیعی، نرمی سازه، میرایی، پردازش سیگنال، هوش مصنوعی و ... را مورد بررسی قرار داده اند. این پژوهش به دلیل عدم امکان دسترسی انسانی به برخی مقاطع سازه ای و جزئیات، بر موضوع مراقبت و ترمیم سازه ها مبتنی بر متریال های نوین تاکید دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

روش پژوهش

روش تحقیق در این پژوهش از نوع کیفی و به‌صورت توصیفی و فرا تحلیلی می‌باشد و نگارش متون همراه با تحلیل‌های نظری و منطبق با اسناد کتابخانه‌ای و معتبر است. داده‌های پژوهش از منابع و پژوهش‌های پیشین تهیه و گردآوری شده و در قالب راهکارهای سلامت و کارایی بهتر سازه های هیدرولیکی و سدهای خاکی مورد بررسی قرارگرفته است. راستای تحلیلی این تحقیق بر مبنای معرفی و بازشناخت اهمیت مصالح و مواد جدید در جهت سلامت و کارایی بهتر سازه های هیدرولیکی و تبیین روش‌های مؤثر مراقبتی در مقابل خطرات و صدمات احتمالی می‌باشد. بدین منظور، پس از معرفی و تبیین این روش ها، ویژگی های مربوط به هر یک در قالب جدولی جمع بندی شده و بر اساس میزان فراوانی این ویژگی ها در روش های مختلف، ضریب اهمیت مشخصی به هر ویژگی تعلق گرفت و از مجموع ضرایب اهمیت اختصاص یافته به هر کدام از روش های ترمیمی، مهم ترین و کارآمد ترین شیوه های تقویت، ترمیم و مراقبت از سازه های هیدرولیکی نتیجه گیری شده است.

مبانی نظری

آسیب دیدگی سازه های هیدرولیکی

هر سازه بتنی در طول مراحل ساخت و بهره‌برداری می‌تواند به علل مختلف مانند خوردگی آرماتورها، نفوذ آب، حمله سولفات و کلرها، کربناسیون، قلیایی شدن بتن، اشتباهات طراحی و بارگذاری، حوادث، ترک‌های ناشی از جمع شدگی و عدم کیورینگ و نگهداری مناسب، عدم اجرای نامناسب بتن، عدم کیفیت لازم طرح اختلاط، عدم فراهم بودن شرایط مناسب بتن‌ریزی و ... دچار نقص کیفی در بتن گردد که باعث تحلیل عضو بتنی، کاهش شدید دوام و مقاومت بتن و حتی از بین رفتن دائمی عضو می گردد. از سوی دیگر بدیهی ست که هرگونه ترمیم و تعمیر اصولی و کارآمد بتن نیازمند تشخیص کارشناسی عوامل ایجادکننده نقص و تشریح نیازهای مورد نظر از ترمیم می‌باشد که این امر، خود نیازمند احاطه کامل کارشناسان به مصالح متنوع ترمیمی _چه از نظر ساختار و چه از منظر کاربرد و اجرا_ است. چرا که عدم رعایت اصول و مراحل ترمیم بتن می‌تواند باعث تشدید آسیب‌ها، تحمیل هزینه‌های مضاعف و کاهش بیش‌ازپیش کیفیت عضو و کاربری آن می‌شود. از این‌رو بدیهی است که یک عملیات ترمیم اصولی و با کیفیت، در تعامل با مجموعه‌ای از دانش‌های فنی و تجربه اجرایی مورد نیاز انجام‌پذیر است. در همین راستا روزبه‌روز مصالح نوینی معرفی می‌شود که کاربردهای فراوانی داشته و مشکلات مصالح قدیمی را ندارند. از جمله خصوصیات مصالح نوین باربری زیاد، سبکی، زیبایی، نصب و حمل آسان و طول عمر فراوان می باشد (مصباح ایراندوست و فرخی زاده،۱۳۹۳).

شکل۱-آسیب دیدگی سازه های هیدرولیکی(منبع: https://www.wikipaper.ir)

ترمیم و آب بندی سطوح بتنی سازه های هیدرولیکی

ترمیم با استفاده از مصالح و ملات های نوین ترمیم شونده

اصلاح مناطق تخریب شده و یا فضاهای پوک و سست با استفاده از مصالح معمولی و یا چسب بتن از اشتباهاتی است که نتیجه ای جز شکست نخواهد داشت. اغلب سازه‌های بتنی مورد استفاده در شرایط سخت خورندگی و غیرمتعارف مانند سازه‌های دریایی، محیط‌های صنعتی و شیمیایی با مشکلات عدیده‌ای همراه است که علل عمده آن استحکام کم بتن برای کاربردهای خاص و نفوذپذیری بالای آن در مقابل آب و املاح است. همچنین پخت بتن زمان بر بوده که این امر باعث ایجاد مشکلات مضاعف در ساخت و تعمیر سازه‌ها می‌گردد. از طریق جایگزینی کامل ماتریس سیمانی در بتن توسط حامل پلیمری، ترکیبی به دست می‌آید که به آن بتن پلیمری می‌گویند. این ترکیب دارای مزایای بسیاری نسبت به بتن معمولی است که در جدول۱ به آن ها اشاره شده و عمده‌ترین آن‌ها استحکام و دوام بالا و زمان کم موردنیاز برای پخت است (ملکان و دشتی رحمت آبادی ،۱۳۹۴). پروسه کامل ترمیم شامل بررسی و تشخیص علت عیوب، آماده‌سازی سطح، تخریب و حذف نقاط پوک و سست، اجرای لایه‌های محافظت و ممانعت از خوردگی آرماتورها، اجرای پرایمرهای واسط چسبندگی و در نهایت پر کردن نواحی معیوب با ملات های ترمیمی مناسب بسته به عمق تخریب خواهد بود.

ملات های ترمیمی از قبیل: Inducret-BIS1/6, Inducret-BIS 5/4,Asocret-RS, Asocret- IM,Asocre از جمله مواردی هستند که در رفع معضلات و عیوب بتن توسط متخصصین پیشنهاد می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱-مزایای استفاده از سیستم های مدرن ترمیم سیمان پلیمری (Harald et all,2013)

رفتار فیزیکی مشابه بتن
متخلخل با قابلیت پخش بخار
قابلیت اعمال بر سطوح مرطوب
مقاوم در برابر نمک های یخ زدایی
عدم جدایش از بتن اصلی تحت تنش های محیطی
چسبندگی فوق العاده به سطح بتن و دوام بسیار خوب
کاهش میزان نفوذ co2 مقاوم در برابر کربوناسیون
رسیدن به حداکثر مقاومت های فیزیکی و مکانیکی و در حداقل زمان
سخت شدن بدون ایجاد ترک و با میزان جمع شدگی Shirinkage بسیار کم

توجه : میزان مواد مورد نیاز برای ترمیم بتن به مقدار پوکی ها و سایر عیوب بتن بستگی داشته و به هیچ وجه قبل از تخریب نقاط سست قابل محاسبه نمی‌باشد(Harald et all,2013).

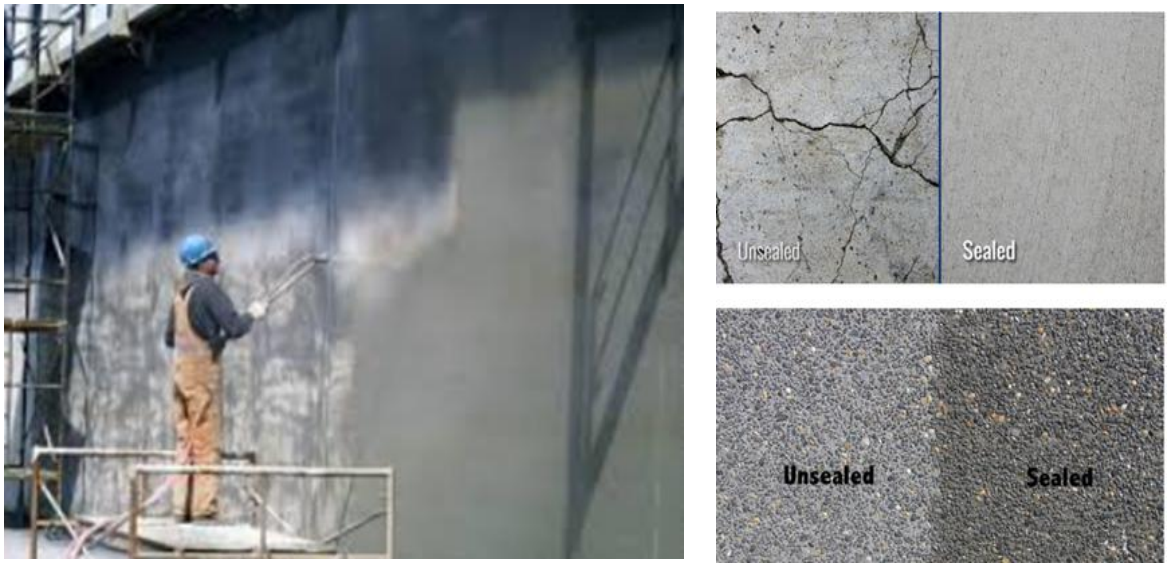
آب بندی سازه بتنی با پوشش نفوذگر کریستال شونده Aquafin IC

سیستم پایه سیمانی Aquafin IC گزینه ای دائمی و قابل اعتماد جهت آب‌بندی سازه بتنی سدها در جهت منفی و مثبت است. مواد نفوذ گر در تماس با آب از طریق لوله‌های موئینه وارد بتن شده و با آهک آزاد موجود در بتن واکنش شیمیایی می‌دهند. تشکیل کریستال‌های نا محلول، کلیه منافذ بتن را پر نموده و با ایجاد ساختاری یکپارچه بتن را از عمق آب‌بند می‌نماید. امکان آب‌بندی فشار منفی از مشخصات منحصر به فرد این محصول است. جهت متوقف نمودن نشتی‌های فعال از مواد آنی‌گیر fix10 و تزریق رزین پلی اورتان P1 و P4 استفاده می‌گردد. جدول شماره ۲ به مزایای استفاده از Aquafin IC در آب‌بندی سطوح بتنی اشاره می‌نماید.

جدول۲-خواص و مزایای پوشش نفوذگر کریستال شونده Aquafin IC(Harald et all,2013)

اجرای آسان و مقرون به صرفه
سریع سخت شونده در تماس با آب و رطوبت
مقاوم در برابر فشارهای هیدرواستاتیک قوی تا ۱۳ بار (مثبت و منفی)
تداوم فعالیت در طی زمان و کاربری سازه
چسبندگی بسیار عالی به بتن
قابل اعمال بر روی سطوح مرطوب
فاقد کلراید
مقاوم در برابر زنگ زدگی آرماتورها، یخبندان، شبنم و یا تغییرات دمایی تا ۵۰+ درجه سانتیگراد
محافظت از بتن در مقابل اثرات مخرب آب های شیرین و شور، جریان های فاضلابی ، آب های خورنده زیرزمینی، کربنات ها، کلراید ها، سولفات ها و نیترات های محلول
دارای تاییدیه آب آشامیدنی
غیر سمی و سازگار با محیط زیست
ایجاد مانع در برابر کربوناسیون بتن

این محصول پس از اعمال و خشک شدن، ترک ها را تا عرض ۰/۴ میلیمتر سیل می نماید و دارای اثر خود- ترمیمی است. به این معنا که در صورت ترک خوردگی بتن، در نتیجه رشد کریستال ها در تمامی جهات و جوانب (مطابق شکل ۲)، توسط کریستال ها خود به خود ترمیم می شود.



شکل۲-پوشش نفوذگر کریستال شونده Aquafin IC(منبع:www.clinicbeton.com)

www.SID.ir

Archive of SID

از آنجا که AQUAFIN-IC با آب موجود در بتن تازه واکنش می دهد، پروسه ای که در مکانیزم آب بندی این محصول طی می شود، شیمیایی و زمان بر می‌باشد.

در واقع هر بلور نقطه شروعی برای تشکیل کریستال های بعدی است. ترکیبات شیمیایی آب بند کننده برای همیشه فعال باقی می‌ماند و از سازه در مقابل نفوذ آب محافظت می‌کنند و در مدت‌زمان قابل قبولی از زمان اعمال، سطح را تا عمق مناسبی آب بندی می‌نماید (حداقل زمان لازم برای خشک شدن این ماده سه روز است و ممکن است یک ماه تا حصول ماکزیمم خواص، زمان نیاز باشد). عوامل محیطی از جمله دمای محیط، دانسیته بتن، تخلخل بتن، میزان رطوبت موجود و شرایط جوی، همگی بر زمان پروسه آب بندی تأثیرگذارند. لذا از دیگر خواص آن‌ها این است که؛

- برای ایجاد و رشد کریستال های بیشتر جهت آب بند نمودن ترک ها، زمان بیشتری لازم است.
- AQUAFIN-IC در شرایط محیطی خشک غیر فعال شده و به محض تماس مجدد با رطوبت فعال می گردد.
- جلوگیری از خوردگی آرماتور داخل بتن، از ترک خوردن و تخریب های ناشی از عوامل جوی جلوگیری می نماید (Harald et all,2013).

استفاده از عایق های جدید اکرلیک و رزین های آبی و مشتقات نفتی

امولسیون‌های آکریلیک پایه آبی در بسیاری از پوشش‌های ساختمانی، ترافیکی و چسب ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله عوامل استفاده گسترده از آن‌ها کاهش چشمگیر آلایندگی محیطی به دلیل داشتن میزان مواد فرار آلی بسیار کم و قیمت پایین آن‌هاست (سلیمانی و میقانی،۱۳۹۵). این عایق‌ها بر پایه آب و آکریلیک با ساختار کاملاً طبیعی و بهداشتی برای اولین بار در جهان بدون نمونه تولیدی و کاملا انحصاری توسط یک شرکت در ایتالیا تولید شده است. اجرای این عایق به مراتب آسان‌تر از اجرای رنگ است به طوریکه پس از پاک نمودن سطح از مواد چرب و خاکریزه، محلول رقیق شده را پاشیده و سپس دو مرتبه پس از خشک شدن هر لایه، لایه بعدی پاشیده می‌شود که این پاشش را می‌توان با ابزاری مثل قلم مو یا ارلس انجام داد که در نهایت یک سطح صاف را ایجاد کند. مشکل عمده‌ای که اغلب عایق ها با آن مواجه می باشند قابلیت کشسانی و انعطاف پذیری است که این عایق جدید با کشسانی حدود ۵۰ درصد این مشکل را کاملا مرتفع نموده است. نوعی از این محصول بنا به خاصیت فیزیکی خود دارای حالت ژله ای و کشسانی بسیار بالایی می‌باشد به طوری که با انعطاف پذیری و کشسانی بالای خود، شکل پذیری خیلی بالایی داشته و به همین سبب با تغییرات حاصل از تنش در سازه مثل ویبریشن موجود در تاسیسات صنعتی و نیروگاه های برق آبی سازگار بوده چرا که در این نوع مکان ها عایق هایی چون ایزوگام و قیر در اثر تنش بالا از سطح جدا شده و پاره می شوند اما عایق جدید تحت این تنش ها در آزمایشات واقعی نتایج مثبت داشته است. هرچند هزینه مواد اولیه و اجرای این عایق بیش تر از قیرگونی می‌باشد اما با بالا رفتن زمان دوره تعمیرات و نگهداری سازه ها، با هزینه ای به مراتب کمتر از عایق های مرسوم به کار می رود (شهبازی و فراهانی،۱۳۸۹).

تزریق رزین اپوکسی

اپوکسی‌ها(اپوکسیدها) از خانواده رزین‌های مصنوعی هستند که دارای‌کربن و اکسیژن بوده و به همین خاطر اپوکسید نامیده می‌شوند. گروه های اپوکسید به خاطر داشتن ساختمان مولکولی خاص‌می‌توانند با بیش از پنجاه نوع نمونه شیمیایی مخلوط شوند و سیستم‌های عمل‌آمده و سخت شده رزین را ایجادکنند. رزین‌های اپوکسی که در محل مورد استفاده قرار می‌گیرند از اختلاط دو بخش محصولات رزین سخت شده و بخش سخت‌کننده حاصل می‌شود که باعث به وجود آمدن خصوصیات منحصر به فردی ازجمله چسبندگی بسیار عالی رزین، مقاومت شیمیایی رزین در برابر اسیدها، جمع شدگی پایین، مقاومت رزین در برابر رطوبت و خاصیت ویسکوزیته بالای رزین می‌شوند. به جهت خصوصیات ویژه رزین های اپوکسی و برتری نسبت به سیمان و سایر مواد، از آن ها برای پر و آب بند کردن ترک های سطوح، چسباندن بتن تازه به بتن سخت شده، وصله زنی و لکه‌گیری و ترمیم سطوح، تحکیم پایه ماشین‌آلات دارای حرکت، کاربرد در زیرآب (به دلیل مقاومت بالا و جمع شدگی کم) استفاده می گردد. همچنین کار با رزین های اپوکسی در کاربرد های مختلف آماده‌سازی سطوح بتنی، فلزی و ... با روش‌های مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به دلیل وجود اثرات منفی بعضی خواص فیزیکی و شیمیایی رزین های اپوکسی، مشکلات محدودی در زمینه کار با آن ها به وجود می آید که با رعایت ملاحظات و ایمنی هایی قابل حل بوده و این مشکلات هیچ خدشه ای به مزیت های اپوکسی وارد نمی آورد.

برای تزریق درزها و ترک ها، ماده‌ای ترکیبی از رزین اپوکسی مایع و فیلر به کار می رود. این ماده ترکیبی قابلیت چسبندگی به دو وجه مرطوب بتن ترک‌خورده حتی در دمای پایین را دارد. عملیات توسط حفاری گمانه های اکتشافی-تحقیقاتی در هر قسمت وجه بالادست باید انجام شود تا مشخصات و محل جز به جز ترک‌ها و درزها مشخص شود. برای مثال در سد سفیدرود برآوردهای اولیه توسط آزمایش نشت آب، وجود ۸۰ ترک را در سد اثبات کرد که متعاقباً توسط تزریق اپوکسی ترمیم شدند. تعمیر ۳۴ ترک مشاهده شده در ۳۴ درز اجرایی به طور هم‌زمان انجام پذیرفت. برای تزریق درزها و ترک‌ها از ماده‌ای با نام تجاری رودار استفاده شده بود که خود ترکیبی از رزین اپوکسی مایع و فیلر غیر آلی است. گمانه های حفر شده برای تزریق، با در نظر گرفتن فاصله میان آن‌ها طوری طراحی شده بودند که بعد از انجام تزریق، ترک ها محل مناسبی برای قرار گرفتن مهارهای عبوری باشند. فشار تزریق در موقعیت ترک بین ۶ تا ۱۰ مگاپاسکال و فاصله گمانه ها بین ۱ تا ۲ متر بود. بررسی چاله های حفر شده و مغزه های گرفته شده از ترک های متقاطعی که بعدا تزریق شده‌اند نشان می‌دهد که این مغزه گیری‌ها تمام خرابی‌های به وجود آمده در اثر زلزله که با چسب رزین ترمیم شده را پوشش داده است. مقدار زیاد تنش‌های برشی در اثر زلزله منجر به بروز ترک‌های عمقی در جهات مختلف شده بود که به راحتی قابل تشخیص بود (شهبازی و فراهانی،۱۳۸۹).

شکل۳-تزریق رزین اپوکسی در بدنه سد ها (www.clinicbeton.com)

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی رفتار الیاف و تاثیر آن در کنترل ترک های سازه های هیدرولیکی بتنی

یکی از راه های مناسب برای مقابله با ترک های موجود در بتن استفاده از مقادیر کم الیاف به منظور کنترل رشد ترک و افزایش مقاومت کششی بتن است. کاربرد الیاف به طور فراگیر از اواسط سال ۱۹۶۰در کشورهای صنعتی پیشرفته آغاز شده و در طی این ۴ دهه جنس و شکل الیاف و نحوه ساخت بتن الیافی بهبود یافته و کاربرد آن نیز فزونی یافته است. شاهد تاریخی این فناوری، کاربرد کاه‌گل در ساختمان‌هاست. در واقع بتن الیافی نوع پیشرفته این فناوری می باشد که الیاف طبیعی و مصنوعی جدید، جانشین کاه، و سیمان جانشین گل به کار رفته در کاه‌گل شده است.

الیاف به کار رفته در بتن در جنس‌های مختلفی نظیر شیشه، فوم، کربن، پلی‌پروپیلن، کولار و... تولید می‌شوند. از جمله مزایای الیاف فولادی این است که دارای مدول الاستیسیته و کرنش شکست بالا بوده که با توجه به قابلیت شکل‌گیری مناسب و مقاومت کششی بالا از مناسب‌ترین و اقتصادی‌ترین نوع الیاف به حساب می‌آید و بالاترین میزان مقاومت و شکل‌پذیری را در بتن ایجاد می‌کنند. همچنین در اشکال ظاهری گوناگونی جهت بهبود رفتار بتن قابل ساخت هستند و از طرفی اختلاط آن‌ها با دیگر مواد بتن به سهولت انجام پذیر است. این الیاف به منظور کنترل ترک های ناشی از جمع شدگی در بتن استاندارد و خودتراکم می‌باشند. اگر بتن از جمع شدن بازداشته شود، تنش‌های کششی ایجاد شده در آن باعث ترک‌خوردگی مقطع می‌شوند. در بتن استاندارد با نسبت آب به سیمان بالاتر از ۴۵ درصد، جمع شدگی ناشی از خشک شدن به عنوان مهم ترین دلیل ایجاد ترک در سنین اولیه تعریف شده است. در بتن خود تراکم در سنین اولیه، به دلیل چسبندگی بالا، جمع شدگی و خزش بیشتری نسبت به بتن استاندارد مشاهده می‌شود ولی در مراحل سخت شدن تأخیری در شروع جمع شدگی، بتن خود تراکم به وجود می آیدکه به دلیل پایین بودن سرعت تبخیر از سطح خارجی اعضای بتنی می‌باشد (ملکان و دشتی رحمت آبادی،۱۳۹۴).

استفاده از انواع جدید آب بند(واتر استاپ)

این نوع جدید واتراستاپ که مخصوص رفع نشت درزهای اجرایی و مقاطع قطع بتن ریزی است، با استفاده از پلیمرهای لاستیکی و پلیمر با خاصیت ارتجاعی بسیار زیاد (مطابق با خواص شیمیایی جدول ۵) طراحی شده است که به صورت کنترل شده ای در هنگام تماس با آب متورم می شوند و مانع عبور آب از درزهای اجرائی و درزهای سرد خواهند شد و با استاندارد های زیر مطابقت دارد؛
ASTM D792 , ASTM D297, ASTM D217, ASTM D71

جدول ۳- خواص و اثرات آب بند ها (Harald et all,2013)

شکل پذیری زیاد و نصب آسان
بدون نیاز به اورلپ کردن یا جوشکاری در زمان نصب
ایجاد واتر استاپ یکپارچه و بدون درز و فاقد گسیختگی
سمی نبودن
امکان اجرا بر روی سطوح بتنی ناصاف (درز های سرد احتمالی)
دارای قابلیت تراکم پذیری و شکل پذیری
مقاومت در مقابل نم، رطوبت و خشک شدن مداوم
عملکرد دائمی و بدون نقص
امکان تاخیر بیشتر در سیستم متورم سازی

جدول۴-موارد کاربرد آب بند ها (همان)

آب بندی درز های اجرایی سطوح افقی و عمودی
آب بندی سطوح ناهموار یا درز های سرد احتمالی
آب بندی دور لوله ها و جایگزینی فلنج های آب بند
نفوذ پذیر سازی درز های اجرایی و مقاطع بتن ریزی در انواع سازه های آبی و سد ها

همچنین عملکرد فنی آن ها به شرح ذیل می باشد؛

- گل بنتونیت موجود در محصول شامل ورقه‌های متعددی حاوی ذره‌های باردار است که در تماس با آب متورم شده و مانع عبور آب یا سایر مواد از درز مورد کاربرد می‌شوند.
- بین این ورقه ها بارهای مثبت و منفی وجود دارد و هنگام بروز نشت، مولکول‌های آب به بارهای مثبت و منفی حمله نموده و خود را بین آن ها قرار داده و باعث تورم این محصول می گردد. همانطور که در جدول۳ آمده است، امکان تاخیر بیش تر در سیستم متورم سازی وجود خواهد داشت.
- بنتونیت های هیدراته شده از نفوذ آب جلوگیری می کند و هرچه فشار هیدرو استاتیک افزایش می یابد (مقاومت هیدرواستاتیک بالاتر از ۷۰ متر طبق جدول ۵)، ورقه های کوچک فشردگی بیشتری یافته و تشکیل درزگیر محکم تری را می دهند. بدین ترتیب یک آب بند دائمی در مقابل فشار سیال حاصل می گردد (Harald et all,2013).

جدول۵-خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب بندها (همان)

مقاومت هیدرواستاتیک بالاتر از ۷۰ متر
وزن مخصوص 57/1 gr/cm3 :مطابق استاندارد ASTM D 792
مقاومت عالی در برابر خشک شدن و مرطوب شدن مکرر
درصد ازدیاد طول: بیشتر از ۴۵۰%
قابلیت انبساط: بیشتر از ۳۰۰%

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده از ژئوتکستایل در ترمیم سد های خاکی

یکی از راهکارهای ترمیم ترک ها در سد های خاکی، استفاده از مصالح پلیمری ژئوتکستایل است. کاربرد ژئوتکستایل در زمینه سد سازی برای ضد آب سازی و جلوگیری از نشت آب از بدنه سد بوده و از تخریب تدریجی آن جلوگیری می‌نماید. نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه موارد استفاده شده از ژئوتکستایل در سد های خاکی نشان می دهد که اجرای ژئوتکستایل از لحاظ اقتصادی، اجرایی، سازگاری در ترمیم ترک های سدهای خاکی بسیار مناسب است (کماسی و نصیری زاده،۱۳۹۳). در این کاربرد، از ژئوتکستایل سنگین که نقش لایه غیر قابل نفوذ را بازی می‌کند، استفاده می‌شود. ژئوتکستایل همچنین به عنوان زهکشی سطحی دیواره سد و انتقال رطوبت به زهکشی‌های پایین سد عمل می‌کند. یک ژئوتکستایل زمانی به عنوان یک فیلتر به کار می‌رود که اجازه عبور آب را در حالی‌که از عبور ذرات خاک جلوگیری می‌کند، بدهد. بنابراین باید در فضای بین خاک تثبیت شونده و مصالح زهکشی (لوله زهکش یا ژئوسنتتیک های زهکشی) قرار گیرد که معمولا بدین منظور از نوع نبافته‌ی آن‌ها استفاده می‌شود. همچنین یک ژئوتکستایل زمانی به عنوان جداکننده به کار می‌رود که بین دو نوع مصالح غیر مشابه قرار گیرد مانند دو نوع خاک ریزدانه و درشت‌دانه. انواع بافته و نبافته این محصول و همچنین ژئوکامپوزیت ها به شرطی که حداقل شرایط مقاومتی مورد نیاز را داشته باشند، می‌توانند به خوبی عمل جدایش را انجام دهند. این عملکرد جزء اولیه ترین عملکردهای ژئوتکستایل می‌باشد.

شکل۴-مصالح پلیمری ژئوتکستایل در سدهای خاکی (منبع:https://geotextile.ir)

یافته های پژوهش

از آنجایی که راهکارها و نگرش های مطرح در ترمیم سازه های هیدرولیکی روز به روز جدیدتر و بروز تر می‌شوند، نیاز همیشگی به آن‌ها محسوس است. برای جلوگیری از تخریب و عدم آسیب دیدگی سازه های هیدرولیکی، با توجه به صرف هزینه های بسیار زیاد و بزرگ مقیاس بودن این قبیل پروژه ها، روش‌های پیشگیری از آسیب بهتر از سایر روش های ترمیمی بوده و توجه به مواد و مصالح ترمیم شونده از راهکارهای مناسب در این خصوص می باشد. در جدول۶ ، مهم ترین روش‌های مطرح شده در پژوهش به منظور تقویت، ترمیم و مراقبت از سازه های هیدرولیکی به همراه ویژگی های کلیدی هر یک جمع بندی شده است؛

جدول۶-روش های تقویت، ترمیم و نگهداری سازه های هیدرولیکی (نگارنده)

	متریال	ویژگی ها
ترمیم آسیب دیدگی سازه های موجود	بتن پلیمری	استحکام و دوام بالا قابلیت اعمال بر سطوح مرطوب Shirinkage بسیار کم عدم جداشدگی از بتن اصلی تحت تنش محیطی کاهش میزان نفوذ co^2 و مقاوم در برابر کربوناسیون
	عایق های جدید اکرلیک	انعطاف پذیری و کشسانی بالا عدم جداشدگی از سطح تحت لرزش های مداوم مواد فرار آلی بسیار کم کم خطر برای محیط زیست
	رزین اپوکسی	چسبندگی بالا مقاومت شیمیایی در برابر اسیدها مقاومت در برابر رطوبت ویسکوزیته بالا جمع شدگی پایین
	ژئوتکستایل	مقرون به صرفه بودن سهولت در اجرا کاربردهای متنوع (لایه ترمیمی، لایه فیلتر، جداکننده)
مقاوم سازی و تقویت در حین اجرای سازه	پوشش نفوذگر کریستال شونده	امکان آب بندی فشار منفی قابل اعمال بر روی سطوح مرطوب غیر سمی و سازگار با محیط زیست

www.SID.ir

Archive of SID

		ایجاد مانع در برابر کربوناسیون بتن
	بتن الیافی	افزایش مقاومت کششی کرنش شکست بالا قابلیت شکل‌گیری مناسب سهولت اختلاط و بهبود رفتار بتن
	واتر استاپ	مقاومت در برابر رطوبت قابلیت شکل پذیری کم خطر برای محیط زیست قابلیت انبساط طولی بالا

تحلیل یافته های پژوهش

در جدول ۶ به دسته بندی مشخصی از انواع روش های اجرای معرفی شده در این پژوهش، پرداخته شده است. همانطور که پیش تر نیز اشاره شد، راهکارهای رفع و یا کاهش آسیب های سازه های هیدرولیکی، در دو دسته مقاوم سازی و تقویت در حین اجرای سازه و پایش، شناسایی و ترمیم آسیب دیدگی در زمان های متناوب، طبقه بندی می گردد. استفاده از واتر استاپ ها، بتن الیافی و پوشش نفوذگر کریستال شونده در دسته اول، و بکارگیری بتن پلیمری، عایق های اکرلیک، رزین اپوکسی و ژئوتکستایل در دسته دوم، به عنوان روش های نوین و بهینه در راستای افزایش کارایی سازه های هیدرولیکی شناسایی و مورد بررسی قرار گرفته اند. پس از بررسی تفصیلی این روش ها، ویژگی های هر یک استخراج گردیده و به عنوان یافته های این پژوهش جمع بندی و فراوانی آن ها به منظور تعمیم به سازه‌های هیدرولیکی به عنوان عوامل موثر بر سلامت و کارایی این سازه ها مورد بررسی قرار گرفت. از بین این ویژگی ها به ترتیب مقاومت در برابر رطوبت (امکان اجرا بر روی سطوح مرطوب)، انعطاف پذیری و کشسانی بالا، سازگاری با محیط زیست و چسبندگی سطحی بالا (عدم جداشدگی از بتن اصلی تحت تنش های محیطی)، از بیشترین فراوانی در میان دیگر ویژگی های مطرح شده، برخوردار بوده و لذا دارای اهمیت بالاتری در ترمیم و مراقبت از سازه های هیدرولیکی نیز می باشند.

نتیجه گیری

همانطور که در تحلیل یافته های پژوهش و جدول ۶ اشاره گردید، چهار عامل مذکور، نسبت به دیگر ویژگی ها از اهمیت بیش تری برخوردارند. با نسبت دادن ضریب اهمیت ۱ و ۰,۷۵ به این چهار عامل و نسبت دادن ضریب اهمیت ۰,۵ و ۰,۲۵ به دیگر عوامل با اهمیت و فراوانی پایین تر، مطابق جدول شماره ۷، رزین اپوکسی با درجه ۳,۵ و پس از آن واتر استاپ با درجه ۳ به ترتیب بیش ترین امتیاز را به دست آوردند. نتیجتا استفاده از رزین اپوکسی و پس از آن استفاده از واتر استاپ ها به عنوان کارامد ترین روش های تقویت، ترمیم و مراقبت از سازه های هیدرولیکی در مقایسه با دیگر روش ها نتیجه گیری می شوند.

جدول۷-جمع بندی ضریب اهمیت روش ها (نگارنده)

متریال	مجموع ضرایب
بتن پلیمری	۳
عایق های جدید اکرلیک	۲,۷۵
رزین اپوکسی	۳,۵
ژئوتکستایل	۰,۷۵
پوشش نفوذگر کریستال شونده	۲,۵
بتن الیافی	۱,۷۵
واتر استاپ	۳

همچنین برخی از روش های یاد شده در جدول۶، برای جلوگیری از تخریب و آسیب دیدگی سازه های هیدرولیکی به کار می روند و نقش عامل باز دارنده را برای تخریب سازه ایفا می کنند و برخی دیگر در صورت آسیب دیدگی و ایجاد ترک و یا خوردگی در سطح سازه کارآیی دارند. حال آن که بهتر است برای جلوگیری از آسیب دیدن سازه، ابتدا اقدامات پیشگیرانه ای نظیر ساخت بتن ضد آب و کاهش نفوذ پذیری بتن با کم کردن تخلخل آن را انجام داد اما از آنجا که بازدهی هیچ روشی به صورت آرمانی و ایده آل نمی باشد، می بایست تدابیری نیز جهت ترمیم آسیب های احتمالی وارده همچون نفوذپذیری بتن، نشتی از لوله های انتقال آب و اتصالات، سطح بالای آب های زیرزمینی، بارندگی و ... اتخاذ نمود.

منابع

۱. توفیق، عماد،۱۳۹۴،بتن خودترمیم شونده، تحولی در صنعت ساخت و ساز،سومین همایش ملی مصالح ساختمانی و فناوری های نوین در صنعت ساختمان، میبد،https://civilica.com/doc/543367.

۲. سلیمانی، حسین و میقانی، حسین،۱۳۹۵، مروری بر پوشش های پایه آبی آکریلیک اصلاح شده با پلیمرهای با عملکرد بالا و نانومواد ،https://civilica.com/doc/541312.

۳. طائفی، محمد علی؛ نصیری، سبحان،۱۳۷۹، چهارمین کنفرانس سدسازی طراحی ، اجرا ، بهره برداری و نگهداری مدیریت ، بهره برداری سد و مخزن، ۱۳۷۹، بهسازی و ترمیم بتن با نگرش ویره به سدها و سازه های آبی و شرایط خاص ایران.

۴. کماسی، مهدی و محمد نصیری زاده،۱۳۹۳،ترمیم سد خاکی با استفاده از ژئوتکستایل،دومین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در عمران،معماری و مدیریت شهری،تهران،دانشگاه جامع علمی کاربردی.

۵. محمدی، امیر؛ محمدیاسین شجاعی فر و باقر نیکوفر،۱۳۸۶، ترمیم و بهسازی سازه های بتنی با استفاده از روش تزریق مواد شیمیایی پلی اورتان (نمونه موردی پوشش و ترمیم بتن سازه سرریز وگالری تزریق سد علویان) ، سومین کنگره ملی مهندسی عمران، تبریز ، دانشگاه تبریز ، دانشکده فنی - مهندسی عمران.

www.SID.ir

Archive of SID

۶. مصباح ایراندوست، فرهاد و سعید فرخی زاده،۱۳۹۳،کاربرد مصالح ساختمانی نوین، همایش ملی مهندسی عمران، معماری و مدیریت پایدار شهری، گرگان، سازمان ملی استاندارد استان گلستان.

۷. ملازاده، مهدی و جهان، امیرمحمد و جهان، سعید،۱۳۹۷،روش های نوین شناسایی آسیب جهت پایش سلامت سازه های هیدرولیکی،اولین دوره همایش ملی مدل سازی وفناوری های جدید در مدیریت آب، بیرجند، https://civilica.com/doc/1008020

۸. ملکان, میثم و محمدعلی دشتی رحمت آبادی، ۴۹۳۱، بتن پلیمری، همایش بین المللی معماری عمران وشهرسازی در آغاز هزاره سوم، تهران، کانون سراسری انجمن های صنفی مهندسان معمار ایران.

۹. Harald S. Müllera, Edgar Bohnera, Michael Vogela, Vladislav Kvitsela, Solichinb (2013) The 2nd، Innovative Solutions for the Construction and the Repair of Hydraulic Structures International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering.

۱۰. Müller H S, Fenchel M, Bohner E and Mutschler T (2008). Bau eines Höhlenkraftwerkes zur Trinkwassergewinnung auf Java, Teil 2: Konzeption und Realisierung des Sperrwerkes unter Berücksichtigung örtlich verfügbarer Baustoffe und Technologien. In: Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung, Betonbauwerke im Untergrund – Infrastruktur für die Zukunft, Müller H S , Nolting U and Haist M (eds.), University of Karlsruhe, Scientific Publishing, pp. 121-137.

۱۱. Bohner E, Fenchel M and Müller H S (2009). Konzeption und Herstellung eines unterirdischen Betonsperrwerks zur 7-7-Trinkwasserge winnung auf Java, WasserWirtschaft, Vol. 99, No. 7-8, pp. 47-52.

۱۲. Nestmann F, Oberle P, Ikhwan M and Singh P (2008). Bau eines Höhlenkraftwerkes zur Trinkwassergewinnung auf Java, Teil 1: Gesamtkonzept zur energetischen Nutzung unterirdischer Wasserressourcen in Karstgebieten. In: Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung, Betonbauwerke imUntergrund – Infrastruktur für die Zukunft, Müller H S, Nolting U and Haist M (eds.), University of Karlsruhe, Scientific Publishing, pp. 109-120.

۱۳. www.clinicbeton.com

۱۴. https://geotextile.ir.

۱۵. https://www.wikipaper.ir

www.SID.ir