تأثیر فعل و انفعالات میکروبی بر خوردگی اسیدی لوله‌های بتنی فاضلاب

مقاله علمی – مروری

مصطفی آدرسی*، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیرشهید رجایی، تهران، ایران
حجت علی کرمی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیرشهید رجایی، تهران، ایران
حسین یوسفی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیرشهید رجایی تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.adresi@sru.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۷– پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵
صفحه ۴۵۴-۴۴۱

چکیده

خوردگی بتن ناشی از فعالیت میکروب‌ها یکی از ساز و کارهای اصلی تخریب زیرساخت‌های زیرسطحی است، در نتیجه موجب هزینه‌های بالای اقتصادی و همچنین نگرانی‌های شدید به خصوص در زمینه‌ی سلامت در محیط‌های خورنده مانند فاضلاب را افزایش می‌دهد. در این بررسی یک مروری بر پیشرفت‌های کلیدی تحقیقاتی به دست‌آمده در رابطه با درک مکانیسم‌های واکنش خوردگی میکروبی و توسعه مواد بادوام صورت گرفته است. در اینجا یک بررسی کلی از خوردگی میکروبی که در لوله‌بتنی فاضلاب اتفاق می‌افتد، مطرح شده است و همچنین برخی از راهکارهایی که توسط دانشمندان حوزه‌های مختلف مانند علوم میکروبیولوژی، کانی‌شناسی، مواد و هیدروشیمی آزمایش و ارائه شده است، مطرح شد. به‌همین منظور به‌عنوان مثال استفاده از عوامل ضدباکتریواستاتیک به عنوان یک ابزار موثر برای محدودکردن رشد میکروب روی سطوح بتنی در محیط‌های مهاجم فاضلاب معرفی شده‌است. بعلاوه، بتن‌های ژئوپلیمری در محیط‌های اسیدی به‌عنوان بتن‌های بسیار مقاوم معرفی می‌شوند، بنابراین یک جایگزین سبز ممکن، برای مصالح ساختمانی مبتنی بر سیمان معمولی، هستند.

واژه‌های کلیدی: خوردگی بتن، خوردگی اسیدی، محیط‌های فاضلاب، بتن ژئوپلیمری، سیمان

۱- مقدمه

خوردگی لوله‌های بتنی فاضلاب امروزه یکی از جدی‌ترین مشکلات در کارهای فاضلاب است. نه تنها ساخت و تعویض لوله‌های فاضلاب بسیار پرهزینه است، بلکه خرابی لوله‌های فاضلاب خسارات زیادی به جاده‌ها و روسازی‌ها وارد می‌کند (Mostafa Adresi, Vamegh, and Shiraz 2021; Mostafa Adresi 2021; S Ghafarpur Jahromi, M Adresi 2022; Ali Chaghameh, Mohammadali Arjomand 2022). بنابراین، یافتن راه هایی برای کنترل خوردگی از اهمیت بالایی برخوردار است. اصل اساسی برای کنترل خوردگی، شناخت عوامل اصلی ایجاد خوردگی است. گستره وسیع آلاینده‌ها و حضور میکروبی زیاد در فاضلاب به گونه‌ای است که فاضلاب‌ها به عنوان «راکتورهای میکروبی» عمل می‌کنند که در آن مواد بر اساس واکنش شیمیایی و بیولوژیکی خود تبدیل و تجزیه می‌شوند (Hvitved-Jacobsen, 2001). این فعالیت‌های میکروبی می‌تواند منجر به خوردگی بتن، به ویژه در لوله‌های فاضلاب پرشیب یا عمودی شود. برای سال‌های متمادی فرآیند خوردگی بتن صرفاً شیمیایی

در نظر گرفته می‌شد (Olmstead and Hamlin, 1900) تا زمانی که مشخص شد که عامل مستقیم خوردگی بتن فاضلاب، اسید سولفوریک، به‌جای شیمیایی، به‌طور بیولوژیکی ایجاد می‌شود (Parker, 1945). در بدترین شرایط، تخریب در حدود چندین میلی متر در سال است. (de Belie *et al.*, 2004) الزامات تعویض و بازسازی مربوط به خوردگی لوله‌های فاضلاب بتنی منجر به هزینه سالانه ۱۳۰ میلیون دلار در انگلستان (*Industry data share* , 2013) و بیش از ۴۵۰ میلیون یورو در آلمان (Berger *et al.*, 2016) می‌شود. علاوه بر این، از آنجایی که سولفید هیدروژن برای انسان سمی و خورنده است، شکست ساختاری که ظاهر می‌شود می‌تواند باعث آسیب به زیرساخت‌های مجاور، اموال و به طور بالقوه شهروندان شود (Jiang *et al.*, 2016). بطور مثال فساد ضایعات آلی در یک روسازی بتن متخلخل میتواند نمونه دیگری از این نوع آسیب باشد (Mostafa Adresi, Shirgir, and Nagherzadeh 2022) (Mostafa Adresi et al. 2023). آسیب‌های معمولی عناصر بتنی ناشی از MICC در سیستم‌های فاضلاب مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است. (Grengg *et al.*, 2018)

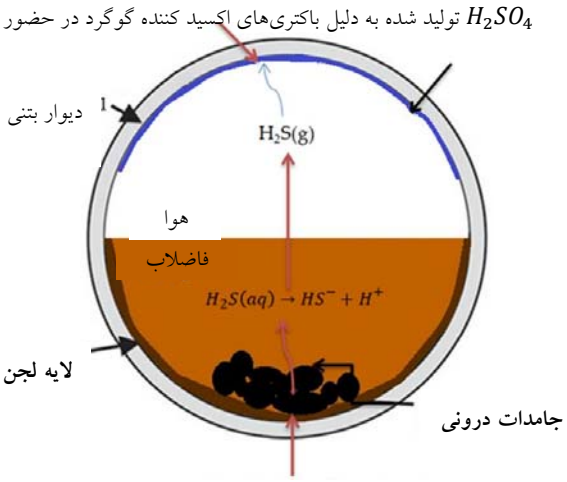
شکل ۱. نمونه‌هایی از علائم زوال معمول در سیستم‌های تحت تاثیر خوردگی بتن ناشی از میکروبی. تصاویر A ، B و D در چاهک بازدید بتنی در مسیر شبکه قدرت گرفته شده اند، در حالی که تصاویر C و E آسیب‌های موجود در حوضه‌های آبریز فاضلاب را نشان می‌دهند. (Grengg *et al.*, 2018).

۲- ویژگی‌های محیط‌های فاضلابی به وجودآورنده‌ی خوردگی بتن

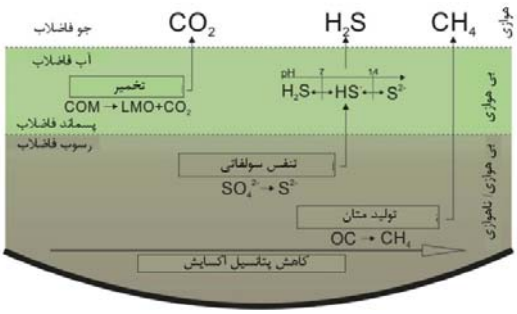
به طور کلی، فرآیند خوردگی از طریق یک فرآیند شیمیایی سه مرحله‌ای انجام می‌شود: سولفات موجود در فاضلاب به سولفید تبدیل می‌شود، سولفید به شکل گاز در هوا آزاد شود، هیدروژن سولفید بر روی سطوح مرطوب اکسید و به اسید سولفوریک تبدیل می‌شود. (Parker, 1945) (Vollertsen *et al.*, 2008a). اسید سولفوریک تولید شده از اکسیداسیون گاز H_2S با سیمان موجود در بتن واکنش داده و گچ و اترینگیت را تشکیل می‌دهد (Mostafa Adresi and Rashti mohammad 2023) (Mostafa Adresi and Moradi 2022). این واکنش‌ها یکپارچگی ساختاری بتن را تضعیف می‌کند و ظرفیت باربری را کاهش می‌دهد و در نهایت منجر به فروریختن فاضلاب می‌شود(Sun *et al.*, 2015).

تولید سولفید یک فرآیند با واسطه باکتری است که در بخش غوطه‌ور سیستم‌های فاضلاب بهداشتی از باکتری‌های کاهنده گوگرد رخ می‌دهد (O'Dea, 2007). این فرآیند اکسیداسیون می‌تواند هر جا که گاز H_2S کافی (بیش از ۲ میلی‌گرم در لیتر)، رطوبت نسبی بالا و محتوای اکسیژن اتمسفر بالا وجود داشته باشد، انجام شود. تصور می شود که این شرایط در اکثر سیستم های فاضلاب حداقل برای چند بار در طول سال وجود داشته باشد (O'Dea, 2007). شکل ۱ بخشی از یک لوله بتنی را با فازهای مختلف در یک لوله فاضلاب معمولی بتنی نشان می‌دهد (Wu, Hu and Liu, 2018). علاوه بر گاز سولفید هیدروژن گازهای دیگری نیز در فرایند تجزیه مواد عالی با مولکول‌های عالی

درشت در لوله فاضلاب اتفاق می‌افتند که در شکل ۳ نشان داده شده است. شکل ۳. توصیف شماتیک از فرآیندهای میکروبی که در لایه‌های لجن و رسوب لوله‌های فاضلاب با کاهش پتانسیل ردوکس رخ می‌دهد. فرآیندهای تخمیر اولیه باعث تبدیل مولکول‌های آلی پیچیده به مواد آلی کم مولکول همراه با تولید دی اکسید کربن می‌شود. LMO پس از آن در طول تنفس سولفات باکتری‌های کاهنده سولفات، و همچنین در طول تولید متان توسط باکتری‌های تولیدکننده متان، در شرایط شدید بی‌هوازی مصرف می‌شود که منجر به تولید گونه‌های سولفید (H_2S، HS^- و S^{2-})، متان و دی اکسید کربن می‌شود.



شکل ۲. نمایش مقطع لوله بتنی فاضلاب (Wu, Hu and Liu, 2018)



شکل ۳. فرآیندهای میکروبی در لایه‌های لجن و رسوب لوله‌های فاضلاب

۳- تاثیر خصوصیات انواع بتن بر شدت خوردگی میکروبی

برخلاف شکل مرسوم حمله سولفات، که در آن تخریب بتن به دلیل تعامل بین سیالات غنی از سولفات و بتن انجام می‌شود، خوردگی میکروبی از طریق انتشار و انتقال گازهای خطرناک کنترل می‌شود. (Grengg *et al.*, 2018). از سوی دیگر، محققان دما، رطوبت نسبی(RH)، غلظت H_2S و دی اکسید کربن را به عنوان پارامترهای محیطی کلیدی در MICC توصیف کرده‌اند (Pomeroy and Parkhurst, 1978; Nielsen *et al.*, 2008; Vollertsen *et al.*, 2008b; Stokbro Jensen and Aalborg Universitet. Institut for Kemi, 2009; Jiang *et al.*, 2015). با این حال تغییرات در هر یک از پارامترهای مختلف، تأثیر نسبتاً کمی بر دوام بتن‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. در مقابل، تغییرات دوام زیادی بین انواع مختلف بتن‌های تحت MICC وجود

دارد. (de Belie *et al.*, 2004; Girardi, Vaona and di Maggio, 2010; Alexander, Bertron and Belie, 2013; Goyns and Alexander, 2014; Herisson *et al.*, 2017; Lors, Hondjuila Miokono and Damidot, 2017). به عنوان مثال سیمان‌های آلومینات کلسیم (Adosi et al. 2021) با سنگدانه‌های کربناته نشان داده‌اند که تا ٦ برابر موثرتر از بتن‌های معمولی مبتنی بر سیمان پرتلند در همان محیط‌های مهاجم عمل می‌کنند از این‌رو، می‌توان نتیجه گرفت که تعامل خاص میکروارگانیسم با مواد خاص، به جای میزان متفاوت از سایر پارامترهای محیطی، نرخ تخریب مصالح ساختمانی بتنی در شبکه‌های فاضلاب را تعیین می‌کند. براین اساس، جلوگیری از رشد میکروبی کاتالیزوری در بتن برای کاهش MICC بسیارمهم است. دانش عمیق از پارامترهای فیزیکوشیمیایی بتن و تأثیر آنها در مورد چسبندگی بیوفیلم، توسعه بیوفیلم و ریزساختار، مبنای توسعه آینده فناوری بتن مناسب، برای شبکه‌های فاضلاب پایدار است. یک نمای کلی از پارامترهای شیمیایی و فیزیکی بتن کنترل‌کننده MICC در شکل ٤ خلاصه شده‌است. تأثیر برخی پارامترهای فیزیکوشیمیایی بتن بر شروع و انتشار MICC از دیدگاه علوم مواد شناسایی شده‌است از جمله علم شیمی سیمان/بتن، نسبت آب به چسباننده (w/b) یا اندازه و توزیع منافذ را می‌توان به جنبه‌های مربوط به فرآیند، مانند نرخ انتشار H_2S و دی اکسید کربن، اشباع آب و ظرفیت خنثی‌سازی اسید نسبت داد و بعداً به نرخ خوردگی و پایداری مواد اختصاص داد. (شکل ٤). به خصوص توزیع اندازه و اتصال منافذ در همه انواع فرآیندهای انتقال مبتنی بر انتشار اصلی است. بر این اساس، فرمول‌های بتن جدیدی طراحی شده‌اند که این پارامترها را در نظر می‌گیرند و در نتیجه به بهبود دوام قابل توجهی دست می‌یابند. در این زمینه، کاربرد سیمان‌های CAC در مقایسه با بتن‌های معمولی OPC طبق مقررات استاندارد (به عنوان مثال EN 206-1) مزایای قابل توجهی را ارائه کرده‌است. با این وجود، تا به امروز نمی‌توان به مهار کامل خوردگی دست یافت.

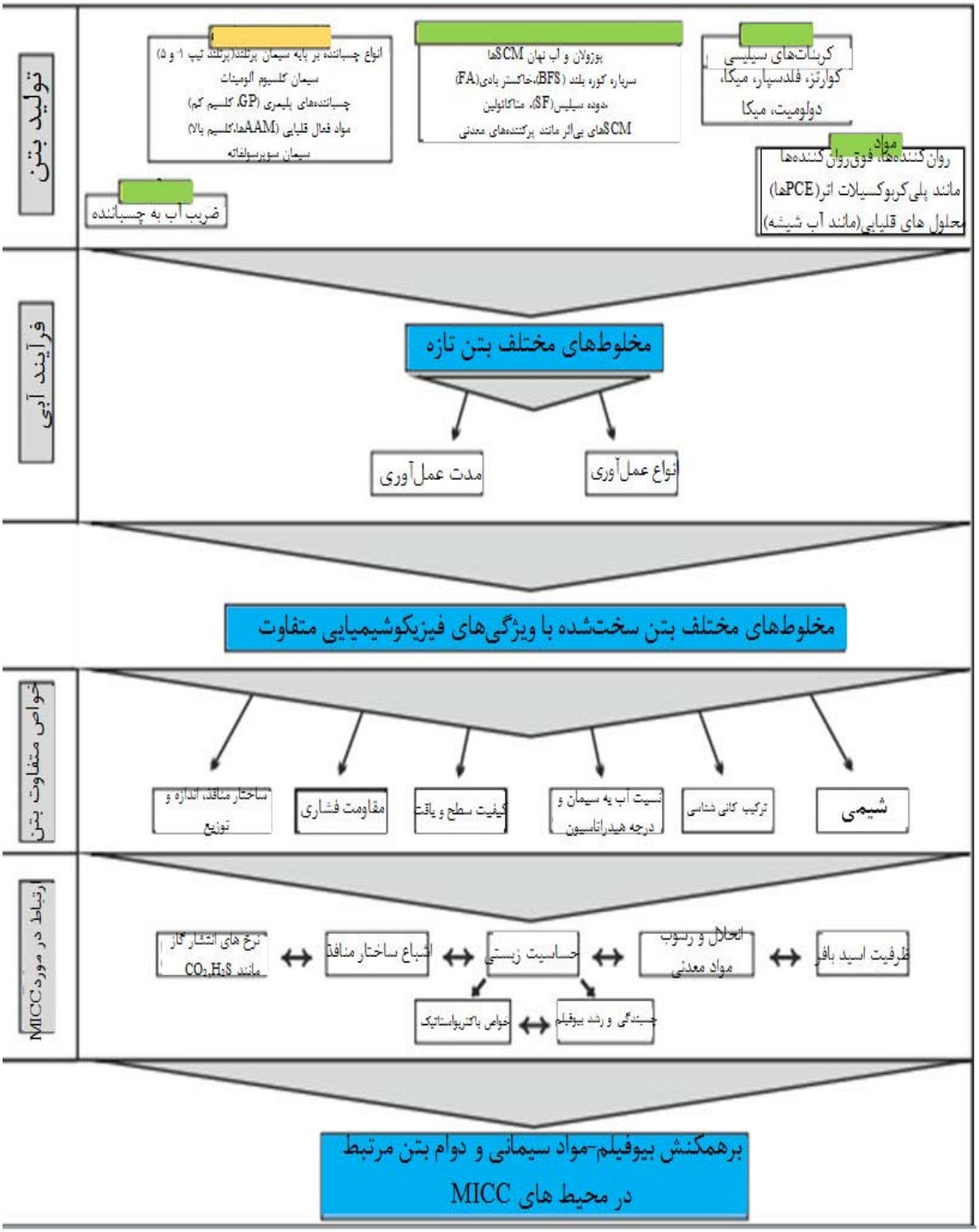
یکی از دلایل این امر این است که به ندرت پارامتر بتنی برای ویژگی‌های آن در مورد چسبندگی، ترکیب و توسعه بیوفیلم در نظر گرفته شده‌است. به عنوان مثال، تأثیر تخلخل کل و توزیع اندازه منافذ بر انتشار گونه‌های مهاجم و ظرفیت اشباع آب به طور گسترده در کارهای مختلف مورد مطالعه قرار گرفته‌است ولی با این حال، به منظور مشخص‌کردن تأثیر این عوامل بر توسعه بیوفیلم، تحقیقات گسترده‌ای مورد نیاز است. همچنین، اطلاعات کمی در مورد تأثیر شیمی سیمان بر ویژگی‌های رشد میکروبی وجود دارد. علاوه بر این، تأثیر شرایط سطح مانند زبری و بافت سطح (Mostafa Adresi and Lacidogna 2021)، کنترل‌شده توسط ترکیب شیمیایی ملات افزودنی و همچنین نوع عمل‌آوری اعمال‌شده بر چسبندگی زیستی، باید در مطالعات آینده با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرارگیرد. تا به امروز از انواع سیلرهای مبتنی بر پلیمرهای آلی برای جلوگیری از دسترسی مواد مهاجم در شبکه‌های فاضلاب استفاده می‌شود. استفاده از نانو مواد به بتن علاوه بر اینکه میتوانند با پر کردن منافذ مویینه مانع نفوذ یون های مضر یا عوامل میکروبی به داخل بتن شوند، می توانند خواص ویژه ای مانند قابلیت خود حسگر را در بتن ایجاد کنند. مواد خود حسگر درصورتیکه تحت خوردگی قرار گیرند مقاومت الکتریکی عبوری از آن ها تغییر میکند و لذا قابلیت خودتشخیصی میتواند به عنوان یک حسگر فرایند خوردگی بتن را پایش کند (Mostafa Adresi et al. 2021b; M. Adresi et al. 2017; Mostafa Adresi, Ahmadi, Ahmadi, and Al 2017; Mostafa Adresi, Sabagh, and Sharifi 2022; Mostafa Adresi, Ahmadi, Ahmadi, Forsat, et al. 2017; Moatafa Adresi and Pakhirazan 2023; Mostafa Adresi and Yekrangnia 2021; Mostafa Adresi, Hassani, et al. 2017; Mostafa Adresi et al. 2021a; Mostafa Adresi, Abedi, and Wang 2023). به عنوان مثال سیلان–سیلوکسان. در حالی که استفاده از ملات‌ها و آسترهای اصلاح‌شده با پلیمر می‌توانند به طور بالقوه دوام لوله‌های فاضلاب بتنی را در محیط‌های مهاجم اخیر بهبود بخشد.

٤- شرح استفاده از بتن‌های مختلف و کاربردی در لوله‌های بتنی فاضلاب

٤-١- بتن ژئوپلیمری

نام ژئوپلیمر توسط پروفسور فرانسوی دیویدویتس در سال ۱۹۷۸ شکل گرفت تا طیف وسیعی از مواد را نشان دهد که با شبکه‌های مولکول‌های معدنی مشخص می‌شوند. بتن ژئوپلیمری یک ماده ساختمانی نوآورانه است که باید از اثر شیمیایی مولکول‌های معدنی تولید شود. خاکستر بادی، محصول جانبی زغال سنگ که از نیروگاه حرارتی به دست

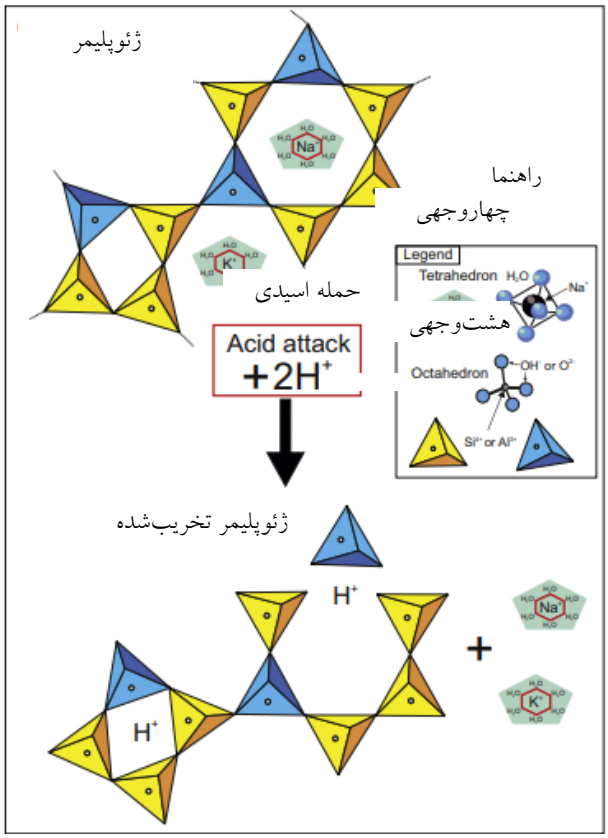
می آید، به وفور در سراسر جهان موجود است. خاکستر بادی سرشار از سیلیس است و آلومینا با محلول قلیایی واکنش نشان داده و ژل آلومینوسیلیکات تولید می کند که به عنوان ماده اتصال‌دهنده بتن عمل می کند. این یک مصالح ساختمانی جایگزین عالی برای بتن سیمانی ساده موجود است. GPC احتمالاً پتانسیل بالایی به عنوان یک ماده چندمنظوره جدید برای زیرساخت‌های فاضلاب دارند (Pacheco-Torgal et al., 2015).



شکل ٤. نمای کلی از پارامترهای شیمیایی و فیزیکی بتن کنترل‌کننده MICC

مواد سنتی مبتنی بر سیمان OPC از طریق واکنش‌های هیدراتاسیون سیمان برای تشکیل هیدروکسید کلسیم (پورتلندیت) و هیدرات‌های سیلیکات کلسیم (فازهای C-S-H) تشکیل می‌شوند، در حالی‌که GPC از چند متراکم شدن آلومینیوم سیلیکات‌ها تولید می‌شود. در نتیجه، مواد سیلیکات آلومینا (رس‌های کلسینه شده، سنگ‌های آتشفشانی، سرباره کوره بلند(BFS)، خاکستر بادی با محلول‌های معرف قلیایی مانند سیلیکات‌های محلول در سدیم یا پتاسیم، آب و سنگدانه‌های سنگی برای تشکیل بافتی شبیه بتن سخت با خواص مقاومتی مشابه مخلوط می‌شوند (Davidovits, 2013). که در ترکیب با خواص ضدمیکروبی بالقوه ممکن است یک سد بسیار طولانی‌تر و پایدارتر در برابر خوردگی میکروبی ایجاد کنند. خواص برتر بتن ژئوپلیمری بر اساس پروفسور B. Vijaya Rangan و Hardijito می‌باشد.

- در دمای اتاق تنظیم می‌شود
- غیر سمی، بدون تعریق
- عمر کاری طولانی قبل از سفت شدن
- غیر قابل نفوذ
- مقاومت بالاتر در برابر حرارت و مقاومت در برابر تمام حلال‌های معدنی
- مقاومت فشاری بالاتر



شکل ۵. توصیف ساختاری ساختار ژئوپلیمر، همراه با تخریب بالقوه چارچوب GP به دلیل ورود اسید، از جمله واکنش‌های تبادل یونی بین H^+ و کاتیون‌های جبران‌کننده بار (Na^+، K^+) و انحلال آلومینیوم چهاروجهی از چارچوب آلومینوسیلیکات (شکستن پیوندهای Si-O-Al)

پروفسور B. Vijaya Rangan (2008)، دانشگاه کرتین، استرالیا، اظهار داشت که "فرایند پلیمریزاسیون شامل یک واکنش شیمیایی بسیار سریع تحت شرایط قلیایی بر روی کانی های سیلیکون آلومینیومی است که منجر به یک زنجیره پلیمری سه بعدی و ساختار حلقه می‌شود." فن‌آوری GPC از تشکیل محصولات هیدراتاسیون غنی از کلسیم قابل حل در اسید جلوگیری می‌کنددر نتیجه خواص مقاوم در برابر اسید بالا را نشان می‌دهد(Provis and van Deventer, 2009).

چسبانندههای ژئوپلیمر یک شبکه سهبعدی از چهاروجهی $[SiO_4]^{4-}$و $[AlO_4]^{5-}$ ایجاد میکنند که بهطور تصادفی با به اشتراک گذاشتن اتمهای اکسیژن به هم متصل شدهاند (شکل ۵). GPBها به دلیل شباهت نانوساختاری، به عنوان آنالوگ ژئولیتها در نظر گرفته میشوند، اما در یک ریزساختار آمورف بستهبندی شدهاند (Pacheco-Torgal *et al.*, 2015، که آنها را قادر میسازد تا کاربردهای مشابهی داشته باشند. برخی از نمونهها شامل درج افزودنیهای کاتیونی ضدمیکروبی برای کاهش شدید کلونیزاسیون باکتریها (Hashimoto *et al.*, 2015)، و همچنین برای تثبیت زبالههای سمی است (Pacheco-Torgal *et al.*, 2015; Andrejkovičová *et al.*, 2016).

تحقیقات تاکنون فقط آزمایشهای تجربی GPC را در مورد مقاومت اسیدی پوشش دادهاست (Gao *et al.*, 2013; Pacheco-Torgal *et al.*, 2015). در این زمینه، تجزیه اسیدی GPC به غلظت اسید بستگی دارد و میتوان آن را به شرح زیر توصیف کرد.

۱) واکنش تبادل یونی بین پروتونهای اسیدی نافذ (H^+) و کاتیونهای جبرانکننده بار (Na^+ یا K^+) چارچوب ژئوپلیمر (Škvára *et al.*, 2012; Ukrainczyk, Vogt and Koenders, 2016)،

۲) انحلال آلومینیوم چهاروجهی از چارچوب آلومینوسیلیکات با شکستن پیوندهای Si-O-Al و تشکیل آب به عنوان یک محصول جانبی که منجر به افزایش pH محلول (ظرفیت خنثیسازی) میشود.

۳) تبلور زئولیتها باعث کاهش مقاومت اضافی میشود.

شباهت نانوساختاری GPB با زئولیتها، GPB را قادر میسازد تا کاربردهای مشابهی به عنوان حامل کاتیونهای ضدمیکروبی داشته باشد بهویژه به دلیل ویژگیهای تبادل کاتیونی آنها. مکانیسم پتانسیل برهمکنش یونهای فلزی (Me+) با GPB در معادلات زیر پیشنهاد شدهاست:

$$[Si-O-Al-O\ldots]^- - K^+ + Me^+ \leftrightarrow [Si-O-Al-O\ldots]^- - Me^+ + K^+ \quad (۱)$$

$$[Si-O-Al-O\ldots]^- - Me^+ + H^+ \leftrightarrow [Si-O-Al-O\ldots]^- - H^+ + Me^+ \quad (۲)$$

ترکیب Me^+ در شبکه ژئوپلیمر، با توجه به واکنش تبادل کاتیونی (معادله (۱))، می تواند به دو روش انجام شود (Hashimoto *et al.*, 2015; Pacheco-Torgal *et al.*, 2015).

۱) در طول سنتز GP با افزودن نمکهای فلزی در طول اختلاط در حالت تازه. و/یا

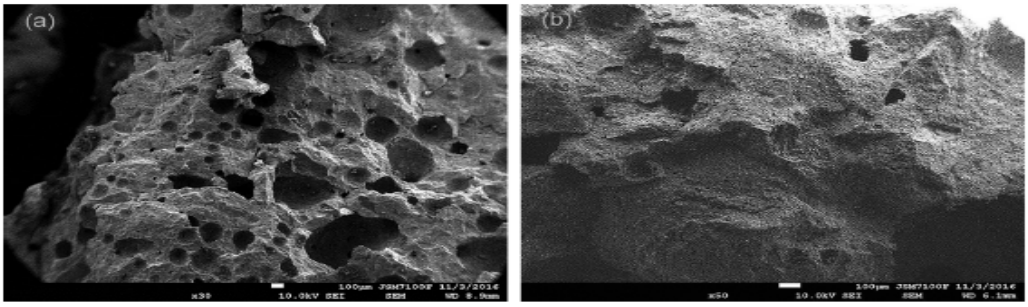
۲) اشباع GP سختشده با محلول کاتیونهای فلزی.

پس از حمله اسید، Me^+ به تدریج بر اساس واکنش تبادل کاتیونی آزاد میشود (معادله (۲))، آنها را محصور نگه میدارد و امکان تعامل با میکروارگانیسمها را فراهم میکند. مکانیسم دیگر برای ترکیب فلز در ساختارهای GP رفتار دوخصلتی فلزات را در نظر میگیرد که در محیطهای قلیایی، کمپلکسهای آبی هیدروکسید (مانند $[Zn(OH)_4]^2$) را ایجاد میکند که به طور بالقوه به شدت (کووالانسی) در ساختار ژئوپلیمر گنجانده شدهاند. خواص توصیفشده به وضوح پتانسیل کاربری عمومی GPC برای کاربردهای فاضلاب را نشان میدهد. علاوه بر این، ترکیب عوامل ضدمیکروبی در ساختار GPC می تواند به افزایش بیشتر مقاومت در برابر خوردگی میکروبی آن کمک کند (Hashimoto *et al.*, 2015). اگرچه برنامههای GPC دارای پتانسیل بالایی هستند، اما هنوز یک روش معمول نیست. فقدان داده در مورد عملکرد دوام و استانداردسازی استفاده میدانی از GPC را دشوار میکند (Provis, Palomo and Shi, 2015). خاصیت تبادل کاتیونی ژئوپلیمرها نیز اثر منفی دارد، به عنوان مثال قلیاها از مواد ژئوپلیمر شسته میشوند و کربناتهای قلیایی (و سولفیدهای قلیایی در محیطهای MICC) را روی سطح بتن تشکیل میدهند که به نام شورهزنی شناخته میشود (Škvára *et al.*, 2012; Pacheco-Torgal *et al.*, 2015).

٤-٢- بتن‌های پوزولانی

استفاده از مواد سیمانی مکمل (SCM) در بتن در سه دهه اخیر به دلیل مزایایی که از نظر پایداری و اقتصادی دارند، بسیار رایج شده‌است (Ahmadi et al. 2020)(Rooholamini et al. 2019). اعتقاد بر این است که استفاده از SCM مانند خاکستر بادی و دوده سیلیس باعث افزایش دوام بتن از طریق پرکردن منافذ و کاهش محتوای هیدروکسید کلسیم در ماتریس خمیر سیمان می‌شود. با این حال، اثر مفید این مواد بر حمله اسیدی هنوز در دست بررسی است. در حالی که برخی از کارهای تحقیقاتی به بهبود از طریق استفاده از دوده سیلیس یا خاکستر بادی اشاره دارند (Fattuhi and Hughes, 1988; Roy, Arjunan and Silsbee, 2001; Kawai, Yamaji and SHINMI, 2005; Sobolev and Yeğinobali, 2005; Kim, Lee and Moon, 2007)، برخی دیگر از کارها گزارش می‌دهند که دوده سیلیس و خاکستر بادی تنها تأثیر کمی بر دوام بتن در برابر حمله اسیدی دارند یا هیچ تأثیری ندارند (Grube and Rechenberg, 1989; Pavlík, 1996; Pavlík and Unčík, 1997).

بطور مثال بتن خود متراکم حاوی پومیس به طور قابل توجهی مقاومت بهتری در برابر حمله اسید H_2SO_4 نسبت به SCCهای حاوی زئولیت نشان دادند که احتمالاً به دلیل انتشار، محتوای پورتلندیت کمتر و پایداری شیمیایی بهتر فازهای جامد ماتریس است. از سوی دیگر، SCCهای دارای زئولیت رفتارهای پیچیده‌تری را با توجه به حمله اسید سولفوریک از خود نشان می‌دهند، همچنین SCCهای مبتنی بر زئولیت به دلیل تخلخل بیشتر و محتوای پورتلندیت کمتر به دلیل فعالیت پوزولانی، نسبت به SCCهای حاوی پومیس بسیار حساستر به کربناته شدن هستند. شکل ٦ را ببینید.



شکل ٦. تصاویر SEM در بزرگنمایی یک نمونه SCC با 15% (a): زئولیت، 15% (b): پومیس

٤-٣- استفاده از عوامل ضد میکروبی در بتن

کلمه ضد میکروبی از کلمات یونانی anti (علیه)، micro (کم) و bios (زندگی) گرفته شده است و به تمام عواملی اطلاق می‌شود که علیه موجودات میکروبی عمل می‌کنند. عامل ضد میکروبی یک اصطلاح کلی است که عمدتاً به آنتی بیوتیک ها، ضد باکتری‌ها، ضد قارچ‌ها، ضد ویروس‌ها و ضد تک یاخته‌ها مربوط می‌شود. عوامل ضد میکروبی، داروها، مواد شیمیایی یا سایر موادی هستند که می‌توانند با دو حالت عمل کنند یا می‌کشند (میکروبیوسیدال) یا رشد میکروب‌ها را کند می‌کنند (میکروبیوستاتیک). داروهای ضد میکروبی را می‌توان بر اساس میکروارگانیسم‌هایی که عمدتاً علیه آنها عمل می‌کنند طبقه بندی کرد. به عنوان مثال، ضد باکتری‌ها علیه باکتری‌ها و ضد قارچ‌ها در برابر قارچ‌ها استفاده می‌شوند. در سال‌های اخیر، افزودنی‌های ضدمیکروبی نیز به طور فزاینده‌ای در بتن‌های معمولی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Vincke, Boon and Verstraete, 2001). به عنوان مثال (Alum *et al.*, 2008a)، فرمولاسیون‌های مختلف ضدمیکروبی حاوی FA، دوده سیلیس (SF)، اکسید روی، مس سرباره، آمونیوم و برمید را مورد مطالعه قرار داد. آنها با آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی نشان دادند که مخلوط‌های بتن حاوی ۱۰ درصد ZnO دارای خواص ضدمیکروبی مشابه با بیوسیدهای تجاری هستند. مطالعات مختلف قبلاً اثرات باکتریواستاتیک یون‌های فلزی (سنگین) مختلف را نشان داده‌اند که بر رشد SOB مربوطه در محیط‌های مختلف توضیح داده شده‌است (Ezaka and Anyanwu, 2011; Navarro, von Bernath and Jerez, 2013; Orell *et al.*, 2013) (جدول ۱).

جدول ۱. خلاصه‌ای از مطالعات مربوطه در توصیف اثرات Me^+، مورد استفاده به عنوان عوامل ضدمیکروبی در کاربردهای مختلف، با تمرکز ویژه بر گونه‌های باکتریایی مرتبط مانند SOB

ترتیب	مواد	افزودن فلز	نتیجه‌گیری/اثر	مرجع
آزمایشات درجا	OPC	Ni	اثرات مهاری قابل توجه بر روی سویه‌های مختلف باکتری نوتروفیل	(NEGISHI *et al.*, 2005)
آزمایشات درجا	OPC	$CaWO_4$, Ni	مهار کامل رشد ۵ سویه مختلف گونه‌های اسیدی تیوباسیلوس. از غلظت بیش از ۵۰ میکرو مولار	(NEGISHI *et al.*, 2005)
تست آزمایشگاهی	OPC	Ni, W, $ZnSiF_6$	رشد SOBهای مختلف را سرکوب کرد.	(KIM *et al.*, 2009)
آزمایش میدانی و آزمایشگاهی	OPC	ZnO, Cu-slag, Br, NH_4	مخلوط‌های حاوی ۱۰ درصد اکسید روی دارای خواص باکتریواستاتیکی مشابه با بیوسیدهای تجاری بودند.	(Alum *et al.*, 2008b)
تست آزمایشگاهی	MK GP	Cu	سرکوب رشد قارچ صدفی	(Hashimoto *et al.*, 2015)
تست آزمایشگاهی	GP	Ag	۹۹ درصد مرگ و میر برای باکتری‌های گرم مثبت/منفی	(Adak *et al.*, 2015)
تست آزمایشگاهی	زئولیت ها	Ag, Zn, Cu	دودویی مس/روی بازده باکتریواستاتیک مشابه Ag	(Kaali *et al.*, 2011)
تست آزمایشگاهی	PPC	Cu	۹۵٪ مرگ و میر E. coli پس از ٤ ساعت تماس	(Delgado *et al.*, 2011)

GP… ژئوپلیمر، … MK GP ژئوپلیمر متاکائولین، …OPC سیمان پرتلند معمولی، … PPC کامپوزیت‌های پلی پروپیلن

۵- نتیجه‌گیری

خوردگی میکروبی بتن به عنوان یکی از مکانیسم‌های اصلی تخریب در سراسر جهان شناخته می‌شود و این هزینه‌های سنگینی برای جوامع مختلف دربر دارد. همچنین به خطر افتادن سلامتی افراد جامعه به دلیل سمی و خطرناک بودن محیط فاضلاب. تا به امروز، هیچ بتن تجاری موجود نمی‌تواند به طور رضایت بخشی در برابر شرایط نامطلوب در چنین محیط‌های مهاجم در طول عمر عملیاتی پیش‌بینی شده خود مقاومت کند. از یک طرف، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی بتن باید با جزئیات در مورد تأثیر آنها بر رشد میکروبی مشخص شود. از سوی دیگر، باید به درک بهتری از محیط میکروبی تشدید کننده خوردگی میکروبی، از جمله واکنش‌های فرآیند متابولیک، توصیف جامع اجتماع میکروبی درگیر، ساختار و توزیع بیوفیلم و همچنین قابلیت‌های عملکردی هتروتروف‌ها و قارچ‌های درگیر، دست یافت. در این زمینه، فناوری ژئوپلیمر به دلیل خواصی مانند موارد ذکر شده در بخش ٤ از جمله نفوذپذیری کم ناشی از ساختار منافذ ظریف، خواص تبادل کاتیونی و پایداری شیمیایی در pH پایین به دلیل عدم وجود کلسیم بسیارمحلول، می‌تواند مصالح ساختمانی امیدوارکننده‌ای را برای محیط‌های مهاجم میکروبی نشان دهد. و همچنین ترکیب با خواص ضدمیکروبی بالقوه، ممکن است یک سد بسیار طولانی‌تر و پایدارتر در برابر خوردگی میکروبی ایجاد کنند.

٦-سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی طبق ابلاغ گرنت شماره۳۵٦۷ مورخ ۱٤۰۱/۰۳/۰۷ انجام گردیده است.

۷- مراجع

-Adak, D. *et al.* (2015). Anti-microbial efficiency of nano silver–silica modified geopolymer mortar for eco-friendly green construction technology. *RSC Adv.*, 5(79), 64037–64045. **doi.org/10.1039/C5RA12776A**

-Adosi, Bentolhoda, Seyed Abbas Mirjalili, Mostafa -Adresi, Jean-Marc Tulliani, and Paola Antonaci. (2021). Experimental Evaluation of Tensile Performance of Aluminate Cement Composite Reinforced with Weft Knitted Fabrics as a Function of Curing Temperature, 13 (4385). **doi.org/10.3390/ polym13244385.**

-Adresi, M., A. Hassani, J.-M. Tulliani, G. Lacidogna, and P. Antonaci (2017). A Study of the Main Factors Affecting the Performance of elf-Sensing Concrete. *Advances in Cement Research* 29 (5).
doi.org/10.1680/jadcr.15.00147.
-Adresi, Moatafa, and Fatima Pakhirazan (2023). "Evaluating the Performance of Self-Sensing Concrete Sensors under Temperature and Moisture Variations- A Review. *Construction and Building Materials* 404 (11).
doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132923.
-Adresi, Mostafa, Amin Ahmadi, Mohsen Ahmadi, Masoud Forsat, and Mohammad Taghipour (2017). Methodology of Damage Detection and Weight in Motion Performance under Traffic Loading in Based Selfon Self-Sensing Concrete. *Quarterly Journal of Transportation Engneering* 9 (2): 139–54. **doi.org/20.1001.1.20086598.1396.9.2.1.9.**
-Adresi, Mostafa, Abolfazl Hassani, Jean-Marc Tulliani, Giuseppe Lacidogna, and Paola Antonaci. (2017). A Study on the Main Factors Affecting the Performance of Self-Sensing Concrete. *Advances in Cement Research* 29 (5): 216–26.
doi.org/10.1680/jadcr.15.00147.
-Adresi, Mostafa, and Giuseppe Lacidogna. (2021). Investigating the Micro/Macro-Texture Performance of Roller-Compacted Concrete Pavement under Simulated Traffic Abrasion. *Applied Sciences* 11 (12).
doi.org/10.3390/app11125704.
-Adresi, Mostafa, and Hamed Moradi (2022). A Review of Laboratory Test and Interpretation Methods Regarding the Investigation of Concrete Behavior under Sulfate and Acid Attacks. *Road* 31 (116). **doi.org/10.22034/ROAD.2022.360597.2085**
-Adresi, Mostafa, and Nima Rashti mohammad. (2023). Methods for Improving Concrete Resistance against Sulfate Attacks - A Review Study. *Road* 31 (116): 261–72.
doi.org/10.22034/road.2023.352650.2071
-Adresi, Mostafa, Behrad Sabagh, and Somaye Sharifi (2022). A Review Study on the Novel Methods in Pavement Damage Detection Based on Piezo-Resistance Capability in Self-Sensing Concrete (In Persian). *Road* 31 (115).
doi.org/10.22034/ROAD.2022.360617.2087
-Adresi, Mostafa, Behrooz Shirgir, and Alireza Nagherzadeh. 2022. Porous Concrete Pavement." *Road* 30 (111): 83–96.
doi.org/10.22034/road.2021.274349.1938
-Adresi, Mostafa, Jean Marc Tulliani, Giuseppe Lacidogna, and Paola Antonaci. 2021b. "A Novel Life Prediction Model Based on Monitoring Electrical Properties of Self-Sensing Cement-Based Materials. *Applied Sciences* 11 (5080).
doi.org/10.3390/app11115080
-Adresi, Mostafa, Mostafa Vamegh, and Mehdi Ebrahimzadeh Shiraz (2021). Evaluation of Durability Properties of Cement Stabilized Base Mixtures Contains Different Amounts of RAP during Wet and Dry Cycles (In Persian). *Journal of Civil and Environmental Engineering* 51 (4). **doi.org/10.22034/JCEE.2021.37584.1891.**
-Adresi, Mostafa, Alireza Yamani, Mojtaba Karimaei Tabarestani, and Hamed Rooholamini. (2023). A Comprehensive Review on Pervious Concrete. *Construction and Building Materials* 407 (133308).
doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133308.
-Adresi, Mostafa, and Mohammad Yekrangnia. (2021). Properties and Mechanisms of the Self-Sensing Piezoelectric Concrete Sensor for Structural Health Monitoring (In Persian). *Journal of Structural and Construction Engineering* 8 (9).
doi.org/10.22065/JSCE.2020.232648.2150.
-Ahmadi, Amin, Mohammad K. Gogheri, Mostafa Adresi, and Ershad Amoosoltani. (2020). Laboratory Evaluation of Roller Compacted Concrete Containing RAP." *Advances in Concrete Construction* 10 (6): 489–98.
doi.org/10.12989/acc.2020.10.6.489.
-Ali Chaghameh, Mohammadali Arjomand, Mostafa Adresi. (2022). Screw Pile and Its Application in Road's Subgrade Improvement. *Road* 30 (110).
doi.org/10.22034/ROAD.2021.302134.1979.
-Mostafa Adresi. (2021). Economic and Durability Optimization of Asphalt Pavement with Cement Stabilized Base Mixtures Ardakan- Naeen Study. *Ferdoesi Civil Engineering* 34 (2): 17–34. **doi.org/10.22067/JFCEI.2021.61752.0**
-Mostafa Adresi, Mohammad mahdi Abedi, and Dong Wang. (2023). Self-Sensing Smart Concrete and Current Technology for Weigh-in-Motion Application: A Review. *Measurement*.
doi.org/10.1016/j.measurement.2023.114042
-Rooholamini, H., R. Sedghi, B. Ghobadipour, and M. Adresi. (2019). Effect of Electric Arc Furnace Steel Slag on the Mechanical and Fracture Properties of Roller-Compacted Concrete. *Construction and Building Materials* 211: 88–98.
doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.223
-S Ghafarpur Jahromi, M Adresi, M Moghadas Shargh. (2022). A Review of the Use of Crumb Rubber in Improving the Behavioral Properties of Soil. *Road* 30 (112).
doi.org/10.22034/ROAD.2022.302236.1977.
–Alexander, M., Bertron, A. and Belie, N. de. (2013). Performance of Cement-Based Materials in Aggressive Aqueous Environments, RILEM State-of-the-Art Reports 10.
doi.org/10.1007/978-94-007-5413-3 (Accessed: 25 March 2022).
–Alum, A. *et al.* (2008a). Cement-based biocide coatings for controlling algal growth in water distribution canals', *Cement and Concrete Composites*, 30(9), 839–847.
doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.06.012

-Alum, A. *et al.* (2008b). Cement-based biocide coatings for controlling algal growth in water distribution canals. *Cement and Concrete Composites*, 30(9), 839–847.
doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.06.012
-Andrejkovičová, S. *et al.* (2016). The effect of natural zeolite on microstructure, mechanical and heavy metals adsorption properties of metakaolin based geopolymers. *Applied Clay Science*, 126, 141–152.
doi.org/10.1016/j.clay.2016.03.009
-de Belie, N. *et al.,* (2004). Experimental research and prediction of the effect of chemical and biogenic sulfuric acid on different types of commercially produced concrete sewer pipes. *Cement and Concrete Research*, 34(12), 2223–2236.
doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.02.015
-Berger, C. *et al.,* (2016). Zustand der Kanalisation in Deutschland: Ergebnisse der DWA-Umfrage 2015. *Sonderdruck Korrespondenz Abwasser, Abfall*, 63(6).
-Davidovits, J. (2013). Geopolymer Cement a review. *Geopolymer Science and Technics* [Preprint], (0).
-Delgado, K. *et al.,* (2011). Polypropylene with embedded copper metal or copper oxide nanoparticles as a novel plastic antimicrobial agent. *Letters in Applied Microbiology*, 53(1), 50–54.
doi.org/10.1111/j.1472-765X.2011.03069.x
-Ezaka, E. and Anyanwu, C.U., (2011). Chromium (VI) tolerance of bacterial strains isolated from sewage oxidation ditch. *International Journal of Environmental Sciences*, 1(7).
-Fattuhi, N.I. and Hughes, B.P., (1988). The performance of cement paste and concrete subjected to sulphuric acid attack. *Cement and Concrete Research*, 18(4), 545–553.
doi.org/10.1016/0008-8846 (88)90047-6
-Gao, X.X. *et al.,* (2013). Behavior of metakaolin-based potassium geopolymers in acidic solutions. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 380, 95–102.
doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2013.09.002
-Girardi, F., Vaona, W. and di Maggio, R., (2010). Resistance of different types of concretes to cyclic sulfuric acid and sodium sulfate attack. *Cement and Concrete Composites*, 32(8), 595–602.
doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.07.002
-Goyns, A.M. and Alexander, M.G., (2014), Performance of various concretes in the Virginia experimental sewer over 20 years. *Calcium aluminates: Proceedings of the International Conference.*
-Grengg, C. *et al.,* (2018). Advances in concrete materials for sewer systems affected by microbial induced concrete corrosion: A review. *Water research*, 134, 341–352.
-Grube, H. and Rechenberg, W., (1989). Durability of concrete structures in acidic water', *Cement and Concrete Research*, 19(5), 783–792.
doi.org/10.1016/0008-8846(89)90049-5
-Hashimoto, S. *et al.,* (2015). Antimicrobial activity of geopolymers ion-exchanged with copper ions. *Ceramics International*, 41(10), 13788–13792.
doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.08.061
-Herisson, J. *et al.,* (2017). Influence of the binder on the behaviour of mortars exposed to H2S in sewer networks: a long-term durability study. *Materials and Structures*, 50(1), 8.
doi.org/10.1617/s11527-016-0919-0
-Hvitved-Jacobsen, T., (2001). Sewer processes: microbial and chemical process engineering of sewer networks. *CRC press.*
-Industry data share (2013). London.
Jiang, G. *et al.,* (2015), Identification of controlling factors for the initiation of corrosion of fresh concrete sewers. *Water Research*, 80, 30–40.
doi.org/10.1016/j.watres.2015.04.015
-Jiang, G. *et al.,* (2016). Wastewater-enhanced microbial corrosion of concrete sewers. *Environmental science & technology*, 50(15), 8084–8092.
-Kaali, P. *et al.,* (2011). The influence of Ag+, Zn2+ and Cu2+ exchanged zeolite on antimicrobial and long term in vitro stability of medical grade polyether polyurethane. *Express Polymer Letters*, 5(12), 1028–1040.
doi.org/10.3144/expresspolymlett.2011.101
-Kawai, K., Yamaji, S. and SHINMI, T., (2005). Concrete Deterioration Caused by Sulfuric Acid Attack.
KIM, G.-Y. *et al.,* (2009). Evaluation of properties of concrete using fluosilicate salts and metal (Ni, W) compounds. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 19 (SUPPL. 1), s134–s142.
doi.org/10.1016/S1003-6326(10)60261-0
-Kim, H.-S., Lee, S.-H. and Moon, H. Y., (2007). Strength properties and durability aspects of high strength concrete using Korean metakaolin. *Construction and Building Materials*, 21(6), pp. 1229–1237. Available at:
doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.05.007
-Lors, C., Hondjuila Miokono, E.D. and Damidot, D., (2017). Interactions between Halothiobacillus neapolitanus and mortars: Comparison of the biodeterioration between Portland cement and calcium aluminate cement. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 121, 19–25.
doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.03.010
-Navarro, C.A., von Bernath, D. and Jerez, C.A., (2013). Heavy Metal Resistance Strategies of Acidophilic Bacteria and Their Acquisition: Importance for Biomining and Bioremediation. *Biological Research*, 46(4), 363–371.
doi.org/10.4067/S0716-97602013000400008

-Negishi, A. *et al.,* (2005). Growth Inhibition by Tungsten in the Sulfur-Oxidizing Bacterium *Acidithiobacillus thiooxidans*. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 69(11), 2073–2080. **doi.org/10.1271/bbb.69.2073**

-Nielsen, A.H. *et al.,* (2008). Aerobic and Anaerobic Transformations of Sulfide in a Sewer System-Field Study and Model Simulations. *Water Environment Research*, 80(1), 16–25.
doi.org/10.2175/106143007X184537

-O'Dea, V., (2007). Understanding biogenic sulfide corrosion. *Materials Performance*, 46, 36–39.

Olmstead, W. and Hamlin, H., (1900).Converting portions of the Los Angeles outfall sewer into a septic tank. *Engineering new*s, 44(19), 317–318.

-Orell, A. *et al.,* (2013). Molecular Characterization of Copper and Cadmium Resistance Determinants in the Biomining Thermoacidophilic Archaeon Sulfolobus metallicus. *Archaea*, 1–16.
doi.org/10.1155/2013/289236

-Pacheco-Torgal, F. *et al.,* (2015). *Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes*, *Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes*. Elsevier.
doi.org/10.1016/C2013-0-16511-7

-Parker, C.D. (1945). The Corrosion Of Concrete. II: The function of Thiobacillus concretivorus (Nov-Spec) in the corrosion of concrete exposed to atmospheres containing hydrogen sulphide. *Australian Journal of Experimental Biology and Medical Science*, 23(2), 91–98.
doi.org/10.1038/icb.1945.14

-Pavlík, V., (1996). Corrosion of hardened cement paste by acetic and nitric acids Part III: Influence of water/cement ratio. *Cement and Concrete Research*, 26(3), 475–490.
doi.org/10.1016/S0008-8846(96)85035

-Pavlík, V. and Unčík, S., (1997). The rate of corrosion of hardened cement pastes and mortars with additive of silica fume in acids. *Cement and Concrete Research*, 27(11), 1731–1745.
doi.org/10.1016/S0008-8846(97)82702-0

-Pomeroy, R.D. and Parkhurst, J.D., (1978). The Forecasting Of Sulfide Build-Up Rates. SEWERS'. *Eighth International Conference on Water Pollution Research*. Elsevier, 621–628.
doi.org/10.1016/B978-0-08-020902-9.50083-3

-Provis, J.L. and van Deventer, J.S.J., (2009). *Geopolymers*, *Geopolymers: Structures, Processing, Properties and Industrial Applications*. Woodhead Publishing Limited.
doi.org/10.1533/9781845696382

-Provis, J.L., Palomo, A. and Shi, C., (2015), Advances in understanding alkali-activated materials. *Cement and Concrete Research*, 78, 110–125.
doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.04.013

-Roy, D.M., Arjunan, P. and Silsbee, M.R., (2001). Effect of silica fume, metakaolin, and low-calcium fly ash on chemical resistance of concrete. *Cement and Concrete Research*, 31(12), 1809–1813.
doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00548-8

-Škvára, F. *et al.,* (2012). A weak alkali bond in (N, K)-A-S-H gels: Evidence from leaching and modeling', *Ceramics - Silikaty*, 56(4).

-Sobolev, K. and Yeğinobali, A., (2005). The development of high-strength mortars with improved thermal and acid resistance. *Cement and Concrete Research*, 35(3), 578–583.
doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.016.

Stokbro Jensen, Henriette. and Aalborg Universitet. Institut for Kemi, M. og. B., (2009). Hydrogen sulfide induced concrete corrosion of sewer networks : Ph. D. dissertation. *Section of Environmental Engineering*, Aalborg University.

-Sun, X. *et al.,* (2015). Impact of fluctuations in gaseous H 2 S concentrations on sulfide uptake by sewer concrete: The effect of high H 2 S loads', *Water Research*, 81, 84–91.
doi.org/10.1016/j.watres.2015.05.044

-Ukrainczyk, N., Vogt, O. and Koenders, E.A.B., (2016). Reactive Transport Numerical Model for Durability of Geopolymer Materials'. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 06(04), 355–363. Available at: **doi.org/10.4236/aces.2016.64036**

-Vincke, E., Boon, N. and Verstraete, W., (2001). Analysis of the microbial communities on corroded concrete sewer pipes? A case study. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 57(5–6), 776–785.
doi.org/10.1007/s002530100826

-Vollertsen, J. *et al.,* (2008a). Corrosion of concrete sewers-The kinetics of hydrogen sulfide oxidation.

-Wu, L., Hu, C. and Liu, W.V., (2018). The sustainability of concrete in sewer tunnel-A narrative review of acid corrosion in the city of Edmonton, Canada. Sustainability (Switzerland). MDPI.
doi.org/10.3390/su10020517

The Effect of Microbial Acidic Corrosion of Concrete Sewer Pipes

Mostafa Adresi, Assistant Professor, Civil Engineering Department, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.

Hojat Ali Karami, M.Sc., Student, Civil Engineering Department, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.

Hassan Yousefi, M.Sc., Student, Civil Engineering Department, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.

Email: m.adresi@sru.ac.ir

Received: June 2024- Accepted: September 2024

ABSTRACT

Concrete corrosion caused by the activity of microbes is one of the main mechanisms of subsurface infrastructure destruction, causing high economic costs and severe health concerns, especially in corrosive environments such as sewage. The main scope of this work is an overview of the key research advances achieved concerning understanding the mechanisms of microbial corrosion reactions and the development of durable materials. In this regard, the investigation of different solutions that have been tested and presented by scientists in various fields, such as microbiology, mineralogy, materials, and hydrochemistry, is mentioned. For this purpose, the use of anti-bacteriostatic agents has been introduced as an effective tool to limit the growth of microbes on concrete surfaces in aggressive sewage environments. In addition, the results presented that Geopolymer concrete is introduced as highly resistant concrete into acid environments so that they are a possible ecological alternative to traditional cement-based building materials.

Keywords: Concrete Corrosion, Acid Corrosion, Sewer Environments, Geopolymer Concrete, Cement