Archive of SID

مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران
پاییز و زمستان ۱۳۹٤، جلد هشتم، شماره ۳ و٤، صفحه ۹۵ تا ۱۰٤

بررسی تأثیر عوامل مختلف موثر بر خوردگی فلزات در خاک با استفاده از تحلیل‌های آماری

مجید تقی‌پور*[۱]، غلامرضا لشکری پور[۲]، محمد غفوری[۲]، ناصر حافظی مقدس[۲]

دریافت مقاله: ۹۳/۰۷/۲۷ پذیرش مقاله: ۹٤/۰٤/۱۱

چکیده

در این مقاله با استفاده از آنالیزهای آماری به بررسی میزان تأثیر عوامل مختلف بر روی خوردگی فلزات در خاک پرداخته شده است. به دلیل عدم وجود داده‌های مشابه در کشور که بتواند تأثیر هر عامل را بر روی خوردگی فلزات مدفون مشخص نماید، از داده‌های حاصل از آزمایش‌های صورت گرفته توسط سازمان ملی استانداردهای امریکا بر روی خورندگی فلزات در خاک بین سال‌های ۱۹۲۲ تا ۱۹٤۷، استفاده شده است. به‌منظور تعیین سهم هر عامل در خوردگی فلزات توسط خاک، یک رگرسیون چندمتغیره بین عوامل مختلف خورندگی خاک و میانگین کاهش جرم لوله‌های مدفون ایجاد شد و در نهایت بهترین مدل برای هریک از متغیرهای مستقل براساس معیار P-value که در آزمون F و در جدول آزمون T نشان داده شده، متغیرهای موثر مدل رگرسیونی انتخاب گردید. این آنالیز برای متوسط زمان آزمایش ۱/۵ و ۱۱/۵ سال و میانگین کل آزمایش (۱۸سال) صورت گرفت. نتایج ماتریس همبستگی ایجاد شده نشان می‌دهد که بیشترین همبستگی بین نتایج مربوط به سال آزمایش و پس از آن اسیدیته‌ی کلی است و سایر متغیرها (میزان کلر، میزان سولفات، درصد رطوبت، بارش، مقاومت و میزان pH خاک) در مدل تأیید نمی‌شوند. مدل نهایی ایجاد شده یک مدل نمایی است که طبق نتیجه آنالیز تحلیل باقی‌مانده‌ها، صحت مدل تأیید می‌گردد. نتایج این تحقیق از این جهت حائز اهمیت هستند که داده‌های مورد مطالعه مربوط به شرایط واقعی و بلندمدت هستند.

کلید واژه‌ها: *خورندگی خاک، خوردگی فلزات مدفون، خواص خاک، کاهش جرم فلز.*

۱. دانشجوی دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، majid.taghipour@stu.um.ac.ir
۲. استاد گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد
* مسئول مکاتبات

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

خوردگی زیرسطحی عبارت است از تخریب فلزات یا دیگر مواد (نظیر بتن) که در اثر واکنش‌های شیمیایی، مکانیکی و زیستی در محیط خاکی صورت می‌گیرد. این پدیده می‌تواند به آرامی یا سریع رخ دهد (Escalante., 1989). از مهم‌ترین عواملی که در خوردگی فلزات در خاک نقش دارند عبارتند از: درصد رطوبت خاک، مقاومت خاک، pH، پتانسیل اکسایش و کاهش، نمک‌های محلول (به‌ویژه یون‌های کلر و سولفات)، درجه حرارت، کانی‌شناسی و بافت خاک، درصد مواد آلی، تغییر بافت خاک، حضور باکتری احیاکننده سولفات (SRB) و منابع تولید جریان‌های سرگردان (stray currents) (Farewell et al., 2012 ، Alamilla et al. 2009 ، Palmer., 1990). بین سال‌های ۱۹۱۱ تا ۱۹۸٤، سازمان ملی استانداردهای امریکا (NBS) مطالعات زیادی در مورد خوردگی انجام داد که شامل اندازه‌گیری خسارت‌های ناشی از خوردگی نمونه‌های موجود در محیط‌های واقعی بود. یکی از این مطالعات در بین سال‌های ۱۹۲۲ تا ۱۹٤۰ بر روی خوردگی فولاد بدون روکش و لوله‌های آهنی مدفون شده انجام شد که در ٤۷ سایت با خاک‌های مختلف در ایالات متحده صورت گرفت. دو هدف اصلی از این مطالعه عبارت بودند از: ۱) آیا روکش‌ها به‌منظور از جلوگیری از خورندگی مورد نیاز می‌باشند یا خیر و ۲) آیا می‌توان از خواص خاک به منظور پیش‌بینی خوردگی استفاده کرد و تعیین اینکه چه موقع روکش‌ها مورد نیاز می‌باشند. اگرچه در این مطالعات خیلی سریع تعیین شد که روکش‌ها برای برخی از خاک‌ها مورد نیاز می‌باشند، همچنین مشخص گردید که نتایج این تحقیقات بسیار متنوع بوده به‌طوری‌که حتی اصول کلی بر مبنای این تحقیق بایستی با دقت ایجاد گردد. در این خصوص محققین عوامل مختلفی را که بر روی نرخ خوردگی زیرزمینی تأثیر می‌گذارند تعیین کردند و نتیجه گرفتند که برنامه‌ریزی آزمایش‌های مناسب و تفسیر نتایج از موارد مشکل‌زا بوده و درون‌یابی و برون‌یابی‌های کمی، تنها به‌صورت تقریبی و در مورد منطقه‌ی مورد مطالعه می‌توانند به کار روند تا زمانی که اطلاعات کامل‌تری در دسترس قرار گیرد (Ricker., 2010). در مقاله حاضر با استفاده از داده‌های موجود در مطالعات صورت گرفته توسط سازمان ملی استانداردهای امریکا، به بررسی روابط بین عوامل مختلف مؤثر بر خورندگی خاک و میزان کاهش جرم فلز در سه زمان ۱/۵ سال، ۱۱/۵ سال (پس از لوله‌گذاری) و زمان کل آزمایش (میانگین داده‌های کاهش جرم فلز به مدت تقریبی ۱۸ سال) پرداخته شده است. در نهایت با استفاده از رگرسیون چندمتغیره، مدل مناسبی جهت پیش‌بینی این میزان کاهش پیشنهاد گردیده است.

۱. روش تحقیق

به‌طورکلی اطلاعات و داده‌ها در مورد رفتار خوردگی فلزات در خاک نسبتاً محدود می‌باشد و بسیاری از مطالعات بر روی خوردگی زیرزمینی وابسته به داده‌های حاصل از تحقیقات صورت گرفته توسط NBS بین سال‌های ۱۹۲۲ تا ۱۹٤۷ می‌باشد(Logan., 1945; Romanoff., 1957; Ricker., 2010). داده‌های حاصل از این تحقیقات از این جهت حائز اهمیت می‌باشند که یک شرایط واقعی را برای بررسی خورندگی خاک در مدت زمان نسبتاً طولانی ایجاد کرده است که در شرایط مدل‌سازی‌های آزمایشگاهی کوتاه‌مدت امکان آن وجود ندارد. در این بررسی‌ها از بین عوامل مؤثر در خورندگی عوامل زیر مورد آزمایش قرار گرفته‌اند: زهکشی، عمق تدفین (عمق لوله‌گذاری)، نوع خاک، درصد رطوبت، میانگین دما، بارش سالانه، فضای بین منفذی، وزن مخصوص، انقباض حجمی، pH، اسیدیته کلی، غلظت نمک‌های محلول و توپوگرافی به‌منظور بررسی اثر خاک بر خوردگی فلز، ۸ نوع مختلف لوله فلزی به‌صورت ٦ سری ۲ تایی به‌منظور بازیابی‌های دوره‌ای، در هر یک از ٤۷ سایت مورد مطالعه قرار داده شد. این لوله‌ها با قطرهای استاندارد ۱/۵ و ۳ اینچ (۳۸/۱ و ۱۱٤/۳ میلی‌متر) آماده شدند. به‌منظور تعیین خسارت‌های ناشی از خوردگی، لوله‌ها در زمان‌های مشخصی پس از دفن از زیر خاک خارج شدند. این زمان‌ها به‌صورت تقریبی عبارت بودند از ۲، ٤، ٦، ۸، ۱۲ و ۱۷/۵ سال. میزان تغییرات

www.SID.ir

Archive of SID

در جرم (وزن) برای هر یک از لوله‌ها، پس از پاک‌سازی محصولات خوردگی از روی آن‌ها تعیین گردید و به‌صورت گرم بر مترمربع (gr/m^2) گزارش شد. در این مطالعات به‌منظور تحلیل‌های بعدی فرض‌های زیر توسط Logan (1945) و Romanoff (1957) ارائه گردیدند:

۱. همان خاکی که برای ایجاد ترانشه گودبرداری شده، دوباره برای پر کردن آن استفاده شده است و خواص فیزیکی و شیمیایی ارائه شده در گزارش‌ها معرف خاکی است که در تماس مستقیم با لوله‌های دفن شده است.
۲. از آنجایی‌که هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد عدم قطعیت‌ها یا تغییرپذیری در گزارش‌ها ارائه نگردیده است، همگن‌سازی سرتاسری برای مقادیر ارائه شده بایستی فرض شود (بدین معنی که محیط دفن لوله‌ها بایستی یک محیط همگن فرض گردد).
۳. با توجه به اینکه داده‌های فصلی موجود نیست، بایستی فرض شود که هیچ‌گونه نوسانات فصلی در شرایط و نرخ خوردگی وجود ندارد.
٤. سال‌هایی که لوله‌های فلزی در خاک مدفون بوده‌اند، سال‌های معمولی بوده‌اند، بدین معنی که بارش سالیانه، درجه حرارت، و دیگر ویژگی‌های خاک به‌درستی گزارش شده‌اند.

به‌طورکلی در تعیین رابطه بین متغیرها از همبستگی و مدل‌های رگرسیون استفاده می‌شود. ضریب همبستگی رابطه بین دو (یا جند) متغیری را نشان می‌دهد که هر دو تحت تأثیر عوامل مشترک، تغییرپذیری هم‌جهت و یا در جهت عکس از خود بروز می‌دهند. بنابراین در روابط علت و معلولی وجوه مشترک داشته و از وحدت رویه برخوردارند. در رگرسیون چندمتغیره، امکان برازش یک خط یا منحنی به داده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. اگرچه ضریب همبستگی نیز معیاری از همبستگی خطی دو متغیر است، ولی رگرسیون به دلایل زیر از اهمیت خاصی برخوردار است:

۱. علاوه بر برازش خط به داده‌ها، امکان برازش منحنی نیز به داده‌ها وجود دارد.
۲. بیان رابطه بین دو متغیر به‌وسیله‌ی رگرسیون از طریق ادامه‌ی معادله رگرسیون است و از این‌رو دقیق‌تر و مناسب‌تر از ضریب همبستگی است. به عبارت دیگر چون رگرسیون قابلیت پیش‌بینی را می‌دهد، از این‌رو از ضریب همبستگی بهتر است.

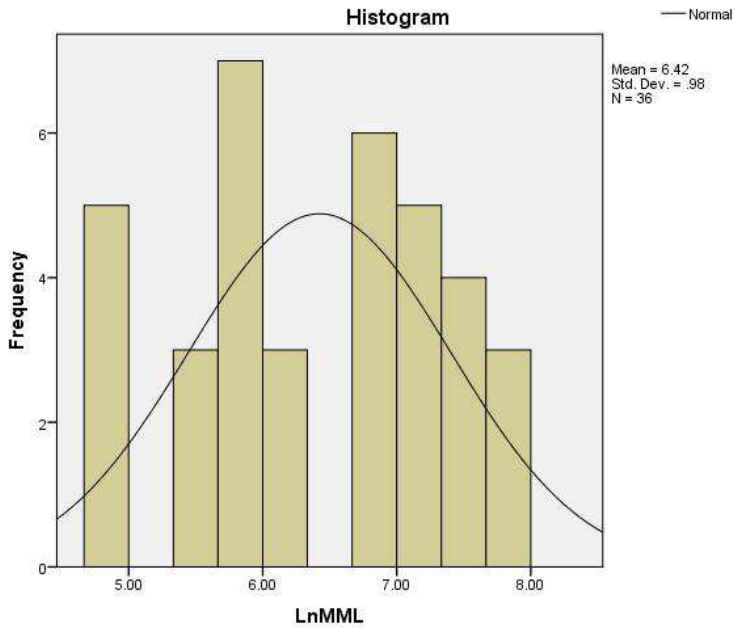
رگرسیون چندمتغیره شکل بسط یافته‌ی رگرسیون دو متغیره با دو یا چند متغیر مستقل است. در رگرسیون چندمتغیره با چند متغیر سروکار داریم، معمولاً متغیرهای مستقل یا xها آن متغیرهایی انتخاب می‌شوند که هم به سادگی قابل اندازه‌گیری باشند و هم اندازه‌گیری آن‌ها از دقت بالایی برخوردار باشد و متغیر وابسته یا y آن متغیری انتخاب می‌شود که هم با متغیرهای x همبستگی قوی داشته باشد و هم خطای اندازه‌گیری مستقیم آن بیش از متغیرهای x باشد (حسینی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۹۰). در این مقاله پارامترهای مؤثر بر خورندگی نظیر درصد رطوبت، مقاومت، میزان کلر و سولفات موجود در خاک، pH و اسیدیته‌ی کلی به عنوان متغیرهای مستقل و میزان کاهش جرم فلز به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده است.

یکی از فرض‌های اصلی در ایجاد رگرسیون چندمتغیره این است که متغیرهای $x_1, x_2, x_3, \ldots, xp$ ناهمبسته باشند و متغیر y نرمال می‌شود در صورتی که خطاها نرمال باشند. اگر متغیرهای مستقل در بین خودشان ناهمبسته باشند و با هر متغیر مستقل دیگری که با متغیر وابسته در ارتباط هستند، ولی از مدل حذف می‌شوند نیز، ناهمبسته باشند. در اغلب موارد، عوامل مؤثر در خورندگی خاک‌ها، دارای داده‌های فاقد توزیع نرمال هستند. در این شرایط می‌توان با استفاده از توابع تبدیل مختلف، داده‌ها را طوری تبدیل کرد که مقادیر تبدیل یافته‌ی آن‌ها دارای توزیع نرمال باشند. در بسیاری از داده‌های خورندگی ارائه‌شده توسط NBS داده‌هایی با توزیع نامتقارن و چولگی مثبت وجود دارند. این بدان معنی است که نمونه‌هایی با مقدار کم (مثلاً نمونه‌های با غلظت پایین از نمک‌های محلول) فراوان‌تر و نمونه‌هایی با مقدار زیاد (مثل نمونه‌های با غلظت بالا از نمک‌های محلول) کمتر وجود دارند. به‌منظور

www.SID.ir

Archive of SID

نرمال‌سازی این‌گونه داده‌ها می‌توان از تبدیل لگاریتمی (لگاریتم مبنای ۱۰) استفاده کرد. البته اگر هدف از رگرسیون آزمون فرض ضرایب رگرسیون نباشد، نرمال بودن خطاها لزومی ندارد و فقط کافی است ناهمبسته با واریانس ثابت باشند (بازرگان لاری، ۱۳۹۱). بنابراین در این مقاله به‌منظور جلوگیری از ایجاد روابط پیچیده بین x و y از نرمال‌سازی داده‌ها خودداری شده است، زیرا همان‌گونه که اشاره گردید متغیر y نرمال می‌گردد، اگر خطاها نرمال باشند و به همین دلیل از متغیرهای x و y، تنها به یک تبدیل لگاریتمی بر روی y بسنده شده است (شکل ۱). به‌منظور شناسایی بهتر و حذف داده‌های خارج از ردیف، از آزمون بازمانده‌ها و نمودار جعبه‌ای استفاده شد و در نهایت این نوع داده‌ها حذف گردیدند که در نهایت داده‌های ۱۸ سایت از ٤۷ سایت مورد مطالعه برای تمامی متغیرهای اندازه‌گیری شده باقی ماندند. پس‌ازاین مرحله در ابتدا یک ماتریس همبستگی پیرسون بین متغیرها به دست آمد و سپس متغیرهایی که همبستگی معنی‌داری با متغیر وابسته داشتند، در مدل رگرسیونی قرار داده شدند و اقدام به برازش مدل مناسب به داده‌ها گردید. در نهایت براساس معیار P value که در آزمون F و در جدول آزمون T نشان داده‌شده است، متغیرهای موثر مدل رگرسیونی انتخاب گردیدند. بعد از این مرحله به بررسی نرمال بودن باقی‌مانده‌های استاندارد شده، براساس آزمون کلموگوروف- اسمیرنوف پرداخته شد.



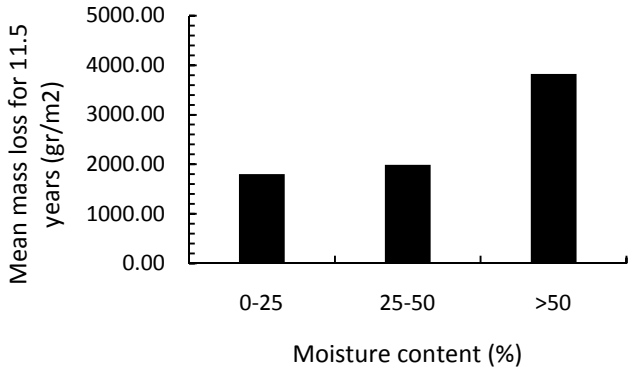
شکل ۱. نمودار هیستوگرام میانگین کاهش جرم فلز نرمال شده با استفاده از تبدیل لگاریتمی

۲-۱. درصد رطوبت

درصد رطوبت خاک نسبت به بقیه عوامل احتمالاً بیشترین تأثیر را در خوردگی خاک دارد، زیرا تقریباً هیچ‌گونه خوردگی در محیط‌هایی که کاملاً خشک هستند اتفاق نمی‌افتد. شکل ۲ نشان‌دهنده‌ی نمودار ستونی میانگین کاهش جرم فلز برای ۱۱/۵سال است که با افزایش میزان رطوبت افزایش می‌یابد. این مورد مطابق با مشاهدات محققینی نظیر Gupta and Gupta (1979) و Ismail and El-Shamy (2009) می‌باشد که بیان داشتند درصد رطوبت بحرانی خاک در خوردگی فولاد هنگامی است که درصد رطوبت به بیش از ۵۰٪ ظرفیت نگهداشت خاک می‌رسد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. نمودار ستونی درصد رطوبت و میانگین کاهش جرم فلز برای ۱۱/۵ سال

۲-۲. مقاومت

مقاومت خاک بیانگر توانایی یک محیط خاکی برای انتقال جریان‌های خوردگی می‌باشد. مقاومت دارای رابطه معکوس با خورندگی می‌باشد، به‌طوری‌که خاک‌هایی با مقاومت کمتر دارای خورندگی بیشتری می‌باشند. علی‌رغم اینکه مقاومت خاک یکی از روش‌های اصلی تعیین خورندگی آن است، اما همان‌طور که نشان داده می‌شود، داده‌های مقاومت همبستگی ضعیفی را با میزان کاهش جرم فلز در ماتریس همبستگی ایجاد شده نشان می‌دهند. یکی از علل این مورد می‌تواند به دلیل همگن فرض کردن محیط خاکی و دیگری ثابت فرض کردن میزان مقاومت خاک در تمام مدت آزمایش باشد.

۲-۳. نمک‌های محلول (کلر و سولفات)

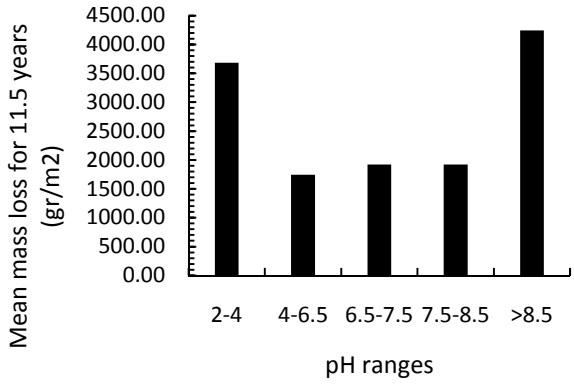
از مهم‌ترین نمک‌های محلول مؤثر در خورندگی خاک کلریدها و سولفات‌ها هستند. میزان خورندگی خاک در حضور نمک‌های محلول به مقدار رطوبت موجود در خاک بستگی دارد. این عوامل نیز همانند مقاومت خاک، در ماتریس همبستگی ایجاد شده، فاقد همبستگی مناسب با متغیر وابسته (میزان متوسط کاهش جرم فلز) بودند.

۲-٤. PH خاک

میزان pH خاک بیانگر میزان اسیدی یا قلیایی بودن آن است. خاک‌ها در شرایط عادی دارای pH بین ٤/٥ تا ٨ می‌باشند. در حالت کلی خاک‌های خیلی اسیدی (pH کمتر از ٤/٥) و خاک‌های شدیداً قلیایی (pH بیشتر از ٩/١) نرخ خوردگی بیشتری نسبت به دیگر خاک‌ها دارند (Elias et al, 2000). در تحلیل‌های صورت گرفته هیچ همبستگی مناسبی بین داده‌های pH خاک و میزان کاهش جرم لوله‌های فلزی مدفون به دست نیامد. شکل ۳ نشان‌دهنده‌ی اثر تغییرات pH خاک بر میزان کاهش جرم لوله‌ها می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، بیشترین میزان کاهش جرم در دو مقدار خیلی اسیدی (با pH ۲ تا ٤) و خیلی قلیایی (با pH بزرگ‌تر از ٨/٥) می‌باشد که مطابق با تقسیم‌بندی ارائه شده توسط AWWA, 1999 می‌باشد. نکته قابل‌توجه این است که pH هیچ‌کدام از نمونه‌ها در محدوده‌ی ۲-۰ نمی‌باشند، درصورتی‌که سیستم طبقه‌بندی خاک‌های خورنده ارائه شده توسط AWWA بیشترین امتیاز را به این محدوده اختصاص داده است.

www.SID.ir

Archive of SID



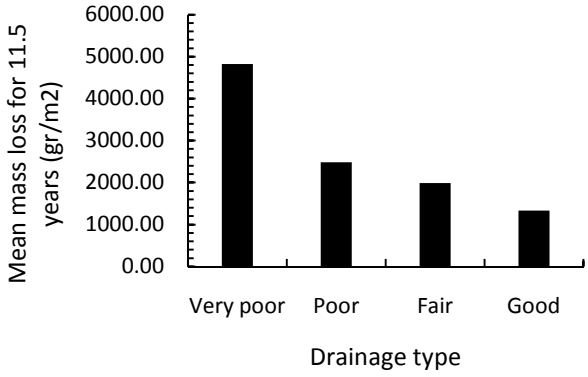
شکل ۳. نمودار ستونی تأثیر تغییرات pH بر میزان کاهش جرم فلز برای ۱۱/۵ سال

۲-۵. اسیدیته‌ی کلی

در آزمایش‌های صورت گرفته توسط NBS علاوه بر pH خاک، میزان اسیدیته‌ی کلی(Total acidity) آن نیز اندازه‌گیری شده است. یون‌های هیدروژن در محلول با یون‌های هیدروژنی که در سطح ذرات خاک (یعنی در محل‌های تبادل) نگه‌داشته شده‌اند، در حالت تعادل هستند. در واقع pH خاک اندازه‌گیری شده، نشان‌دهنده‌ی غلظت یونی هیدروژن فعال (در محلول) می‌باشد. اسیدیته‌ی کلی خاک بیانگر هر دو اسیدیته‌ی فعال (Active acidity) و ذخیره (یا قابل‌تبادل) (Reserve acidity) می‌باشد. بنابراین دو نوع خاک با میزان pH یکسان ممکن است مقادیر بسیار متفاوتی از اسیدیته‌ی ذخیره داشته باشند و خنثی کردن یکی از آن‌ها (در موارد بهسازی شیمیایی) ممکن است بسیار مشکل‌تر از دیگری باشد. بنابراین این نوع اندازه‌گیری اسیدیته می‌تواند معیار بهتری را برای تعیین خورندگی خاک‌ها ارائه دهد. صحت این نکته توسط ماتریس همبستگی ایجاد شده نیز تأیید گردید.

۲-٦. سایر عوامل

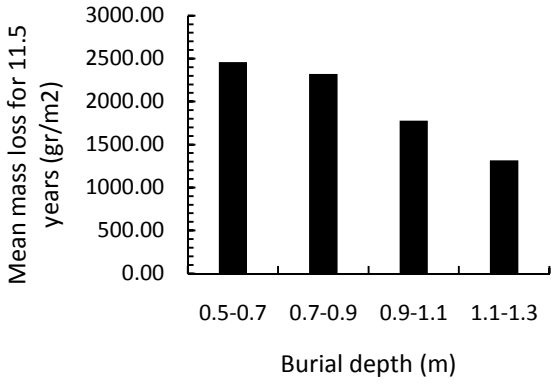
در برخی از موارد نظیر میزان بارش سالیانه و عمق دفن لوله‌ها، به علت پراکندگی زیاد داده‌ها، هیچ‌گونه همبستگی مناسبی برای نمونه‌ها به دست نیامد. می‌توان اظهار داشت که میانگین بارش سالیانه به علت نوسانات فصلی در مناطق مورد مطالعه، نمی‌تواند معیار خوبی برای پیش‌بینی میزان کاهش جرم فلزهای مدفون باشد. نوع زهکشی خاک در گزارش‌های NBS به‌صورت توصیفی ارائه شده است (مشابه تقسیم‌بندی AWWA) که رابطه مستقیمی را با میزان کاهش جرم فلز نشان می‌دهد (شکل ٤). در مورد عمق دفن لوله‌های فلزی، به‌طورکلی نمونه‌هایی که در اعماق کمتری دفن شده‌اند، دچار کاهش جرم بیشتری نیز گردیده‌اند که می‌تواند به علت اکسیژن دهی بیشتر خاک‌های نزدیک به سطح باشد (شکل ۵).



شکل ٤. نمودار ستونی تأثیر نوع زهکشی بر میانگین کاهش جرم فلز برای ۱۱/۵ سال

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵. نمودار ستونی تأثیر عمق دفن لوله‌ها بر میانگین کاهش جرم فلز برای ۱۱/۵ سال

۳. ایجاد ماتریس همبستگی پیرسون و برازش مدل آماری

همان‌گونه که در قسمت قبل نیز اشاره گردید، برای برازش مدل آماری مناسب بین متغیرهای مستقل با متغیر وابسته، ابتدا یک ماتریس همبستگی (جدول ۱) پیرسون بین متغیرهای مستقل شامل: اسیدیته‌ی کلی، pH، درصد رطوبت، میزان بارش مقاومت و سال برداشت داده‌ها، با متغیر وابسته (میانگین کاهش جرم فلز) ایجاد گردید. سپس متغیرهایی که همبستگی آن‌ها با متغیر وابسته طبق آزمون فرض زیر تأیید شد، برای قرار دادن آن‌ها در مدل رگرسیونی انتخاب گردیدند.

$$\begin{cases} H_0: \rho = 0 \\ H_1: \rho \neq 0 \end{cases} \quad (۱)$$

جدول ۱. ماتریس همبستگی بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته.

		اسیدیته	pH	رطوبت	بارش	مقاومت	سال	Ln MML
اسیدیته	همبستگی پیرسون	۱	−۰/۶۰۶	۰/۴۸۹	۰/۲۸۰	−۰/۰۹۹	۰/۰۰۰	۰/۲۸۶
	Sig. (2-tailed)		۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۴۰	۰/۴۷۷	۱/۰۰۰	۰/۰۳۶
	N	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴
pH	همبستگی پیرسون	−۰/۶۰۶	۱	۰/۱۳۳	−۰/۶۴۸	−۰/۶۰۵	۰/۰۰۰	−۰/۱۸۱
	Sig.(2-tailed)	۰/۰۰۰		۰/۳۳۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۱۹۱
	N	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴
رطوبت	همبستگی پیرسون	۰/۴۸۶	۰/۱۳۳	۱	−۰/۳۷۸	−۰/۷۹۰	۰/۰۰۰	۰/۱۰۸
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۰۰	۰/۳۳۶		۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۴۳۷
	N	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴
بارش	همبستگی پیرسون	۰/۲۸۰	−۰/۶۴۸	−۰/۳۷۸	۱	۰/۶۳۷	۰/۰۰۰	۰/۱۸۸
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۴۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵		۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۱۷۴
	N	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴
مقاومت	همبستگی پیرسون	−۰/۰۹۹	−۰/۶۰۵	−۰/۷۹۰	۰/۶۳۷	۱	۰/۰۰۰	۰/۰۳۰
	Sig. (2-tailed)	۰/۴۷۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		۱/۰۰۰	۰/۸۳۱
	N	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴
سال	همبستگی پیرسون	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱	۰/۷۰۲
	Sig. (2-tailed)	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰		۰/۰۰۰
	N	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴
Ln MML	همبستگی پیرسون	۰/۲۸۶	−۰/۱۸۱	۰/۱۰۸	۰/۱۸۸	۰/۰۳۰	۰/۷۰۲	۱
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۳۶	۰/۱۹۱	۰/۴۳۷	۰/۱۷۴	۰/۸۳۱	۰/۰۰۰	
	N	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴

www.SID.ir

Archive of SID

همان‌گونه که در جدول بالا مشاهده می‌گردد شرط همبستگی تنها برای دو متغیر سال آزمایش و اسیدیته‌ی کلی وجود دارد (رابطه ۲ و ۳). در نتیجه این دو متغیر برای تحلیل رگرسیون خطی چندمتغیره انتخاب گردیدند.

$$Sig_{Year} = 0 < \alpha = 0.05 \rightarrow AH_0 \quad (۲)$$

$$Sig_{Acidity} = 0.036 < \alpha = 0.05 \rightarrow AH_0 \quad (۳)$$

نتایج تحلیل رگرسیون چندمتغیره در جداول ۲ تا ٤ آورده شده است.

جدول ۲. خلاصه مدل ایجاد شده.

مدل	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
۱	۰/۷۵۸	۰/۵۷٤	۰/۵۵۸	۰/۵٦۵٤۳

جدول ۳. تحلیل ANOVA برای متغیر وابسته (لگاریتم کاهش جرم فلز) و متغیرهای مستقل (سال آزمایش و اسیدیته‌ی کلی).

مدل	جمع مربعات	df	Mean Square	F	Sig.
رگرسیون ۱	۲۲/۰۰٦	۲	۱۱/۰۰۳	۳٤/٤۱۷	۰/۰۰۰
باقی‌مانده	۱٦/۳۰۵	۵۱	۰/۳۲۰		
کل	۳۸/۳۱۱	۵۳			

جدول ٤. ضرایب مدل رگرسیون چندمتغیره.

مدل	ضرایب ثابت استاندارد نشده		ضرایب ثابت استاندارد شده	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(ثابت) ۱	۵/۳۳۹	۰/۱۷٦		۳۰/۳۵۹	۰/۰۰۰
سال	۰/۰۸۷	۰/۰۱۱	۰/۷۰۲	۷/٦۸۳	۰/۰۰۰
اسیدیته	۵/۵٤۵	۱/۷۷۰	۰/۲۸٦	۳/۱۳۲	۰/۰۰۳

با توجه به نتایج جدول ۳ مشخص می‌گردد که مدل ایجاد شده معنی‌دار می‌باشد، زیرا:

$$\begin{cases} H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0 \\ H_1: \exists_j: \beta_j \neq 0 \end{cases} \quad (٤)$$

$$Sig_{Regression} = 0 < \alpha = 0.05 \rightarrow RH_0 \quad (۵)$$

با توجه به رابطه (۵) مشخص می‌گردد که مدل رگرسیونی ایجاد شده معنی‌دار است. از آنجایی که رابطه (۵) برای نتایج جدول ٤ نیز برقرار است، می‌توان مدل رگرسیونی را بدین صورت نوشت:

$$y_t = \exp\{5.339 + 0.087\, Year + 5.545\, Acidity\} \quad (٦)$$

با توجه به اینکه بر روی متغیر وابسته تبدیل لگاریتمی صورت گرفته، در نتیجه مدل ایجاد شده یک مدل نمایی است. در مرحله بعد با استفاده از آزمون کلموگوروف- اسمیرنوف نرمال بودن باقی‌مانده‌های استاندارد شده، بررسی می‌شود. نتایج این آزمون در جدول ۵ ارائه گردیده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵. نتایج آزمون کلموگوروف–اسمیرنوف برای باقی‌مانده‌های استاندارد شده.

		باقیمانده‌های استاندارد شده
N		٥٤
Normal Parameters	Mean	۰/۰۰۰۰۰۰۰
	Std. Deviation	۰/۹۸۰۹۵۰٦٤
Most Extreme Differences	Absolute	۰/۰۹۱
	Positive	۰/۰۹۱
	Negative	−۰/۰۵۷
Kolmogorov-Smirnov Z		۰/٦۷۱
Asymp. Sig. (2-tailed)		۰/۷٦۰
Exact Sig. (2-tailed)		۰/۷۲۵
Point Probability		۰/۰۰۰

با توجه به نتایج جدول ۵ داریم:

$$\begin{cases} H_0: \text{باقی‌مانده‌ها نرمال هستند} \\ H_1: \text{باقی‌مانده‌ها نرمال نیستند} \end{cases} \quad (۷)$$

$$Sig_{Regression} = 0.725 > \alpha = 0.05 \rightarrow AH_0 \quad (۸)$$

از آنجایی‌که میزان پارامتر (Exact Sig. (2-tailed، بزرگتر از ۰/۰۵ می‌باشد، نتیجه می‌گیریم که فرض صفر (که در اینجا یعنی نرمال بودن باقی‌مانده‌ها) رد نمی‌شود و این بدان معنی است که برازش مدل و آزمون‌های فرض‌های آماری داده شده معتبر می‌باشند.

٤. نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر با استفاده از تحلیل‌های آماری، مدل‌هایی جهت پیش‌بینی تأثیر عوامل مختلف مؤثر در خورندگی خاک بر روی میزان کاهش جرم لوله‌های فلزی مدفون ارائه گردیده است. بدین منظور از روش‌های رگرسیونی استفاده شد. نتایج حاصل از تحلیل‌ها نشان داد که بهترین مدل برای این آزمایش‌ها یک مدل رگرسیونی چندمتغیره نمایی است که در آن تنها دو عامل سال آزمایش و میزان اسیدیته‌ی کلی نقش عمده دارند. سایر عوامل از جمله میزان نمک‌های محلول، درصد رطوبت، میزان بارش، مقاومت خاک با استفاده از ماتریس همبستگی پیرسون هیچ‌گونه معنی‌داری با متغیر وابسته (میانگین کاهش جرم فلز) نشان ندادند. صحت مدل ایجاد شده توسط آزمون کلموگوروف–اسمیرنوف برای نرمال بودن باقی‌مانده‌های استاندارد شده، تایید گردید. به علت پراکندگی زیاد داده‌های مربوط به بارش سالیانه و عمق دفن لوله‌ها، هیچ‌گونه مدل مناسبی بین این مقادیر با میزان کاهش جرم لوله‌ها به دست نیامد. در مورد میزان بارش سالیانه می‌توان گفت که فرض یکسان بودن شرایط فصلی که توسط Logan, 1945 و Romanoff, 1957 ارائه گردیده نمی‌تواند فرض صحیحی باشد. داده‌های مربوط به نوع زهکشی رابطه مستقیمی را با میزان کاهش جرم فلز نشان می‌دهند.

۵. تشکرو قدردانی

نویسندگان از دکتر Ricker از موسسه ملی استانداردها و تکنولوژی امریکا، به خاطر در اختیار قرار دادن داده‌های مورد بحث، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

بازرگان لاری، عبدالرضا. (۱۳۹۱) رگرسیون خطی کاربردی، انتشارات دانشگاه شیراز، چاپ سوم، ۳۲۹ص.

حسینی پاک، علی‌اصغر. شرف‌الدین، محمد. (۱۳۹۰) تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، ۹۸۷ص.

Alamilla, J.L., Espinosa-Medina, M.A., Sosa, E., 2009. Modelling steel corrosion damage in soil environment, Corrosion Science, 51: 2628-2638.

Escalante, E., 1989. Concepts of underground corrosion, in: Chaker,V., Palmer, J.D. (Eds.), Effects of Soil Characteristics on Corrosion, ASTM STP 1013, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 81-94.

Farewell, T.S., Hallett, S.H., Hannam, J.A., Jones, R.J.A., 2012. Soil impacts on national infrastructures in the UK, ITRC Working paper series, 43p.

Elias, V., Fishman, K.L., Christopher, B.R., Berg, R.R., 2000. Corrosion/Degradation of soil reinforcements for mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes, FHWA Report, Report No: FHWA-NHI-00-044, Washington, DC, 142p.

Gupta, S.K., Gupta, B.K., 1979. The critical soil moisture content in the underground corrosion of mild steel, Corrosion Science, 19: 171-178.

Ismail, A.I.M., El-Shamy, A.M., 2009. Engineering behavior of soil materials on the corrosion of mild steel, Applied Clay Science, 42: 356-362.

Logan, K.H., 1945. Underground Corrosion, National Bureau of Standards (USA), Washington, DC, 312p.

Palmer, J.D., 1990. Field soil corrosivity testing-Engineering considerations, in: Baboian, R., Dean, S.W., (Eds.), Corrosion Testing and Evaluation: Silver Anniversary Volume, ASTM STP 1000, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 125-138.

Ricker, R.E., 2010. Analysis of pipeline steel corrosion data from NBS (NIST) studies conducted between 1922-1940 and relevance to pipeline management, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, 115(5): 373-392.

Romanoff, M., 1957. Underground Corrosion, National Bureau of Standards (USA), NBS Circular 579, Gaithersburg, MD, 238p.

www.SID.ir