

کنترل نشت کانال با ترکیب خاک-کربنات دوسود و ملاس

صابر کریمی ناغونی^۱، بابک لشکرآرا^{۲*} و لیلا نجفی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول.

۲- نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول. Lashkarara@jzu.ac.ir

۳- مربی گروه مهندسی عمران دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول.

پذیرش: ۹۶/۳/۳۰

بازنگری: ۹۶/۳/۲۸

دریافت: ۹۵/۹/۲۷

چکیده

در این پژوهش به منظور افزایش راندمان انتقال آب در کانال‌های خاکی، یک پوشش ارزان قیمت معرفی شده است. برای این منظور آستردهی کانال‌های خاکی با استفاده از کربنات دوسود و ملاس نیشکر مورد بررسی قرار گرفته است. ترکیب نمک دوسود با خاک منجر به واگرایی ذرات رس، کاهش خلل و فرج و در نهایت کاهش نفوذپذیری در آن می‌شود. در این تحقیق با توجه به میزان درصد رس در نمونه‌های خاک، اثر میزان به‌کارگیری درصدهای مختلف (۲ الی ۱۰) کربنات دوسود بر میزان نشت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که حداقل میزان نفوذپذیری از ترکیب کربنات دو سود با نمونه‌ی خاک با بافت سیلت-لومی (با ۱۰ درصد رس) از ترکیب ۸ درصد وزنی کربنات دو سود محقق می‌گردد. مشاهدات نظیر نشان داد که درصد مورد نیاز کربنات دوسود برای دستیابی به حداقل نفوذپذیری در خاک‌های با بافت لومی (با ۱۵ و ۲۰ درصد رس) و در خاک با بافت سیلت-رسی-لومی (با ۳۰ درصد رس) به ۱۰ درصد افزایش می‌یابد. آزمایش‌ها نشان داد که با کاهش میزان رس در نمونه‌های مورد بررسی، عوارض ناشی از به‌کارگیری کربنات دوسود و متلاشی شدن ساختمان خاک، باید خاک از نقطه‌نظر پایداری و فرسایش آبی اصلاح شود. به منظور تثبیت ذرات متلاشی شده خاک و افزایش زاویه اصطکاک داخلی ذرات از ملاس نیشکر استفاده شده است. بررسی نتایج نشان داد که روند تغییرات میزان ملاس مصرفی در نمونه‌های اشباع مورد آزمون، تحت شرایط بهینه ۶ الی ۱۰ درصد وزنی، بسته به میزان رس نمونه تغییر می‌یابد. به منظور کنترل فرسایش آبی، سطوح نمونه پس از ترکیب با گوگرد، به وسیله غلطک داغ اتوکشی گردید. تجربه‌های ناشی از آزمون‌های مختلف در این پژوهش نشان داد که اتو زدن سطوح جداره کانال با غلطک داغ پس از ترکیب با حداقل ۲ درصد گوگرد منجر به ایجاد یک لایه جوشنی در سطوح نمونه شده و این امر منجر به افزایش مقاومت خاک در مقابل فرسایش آبی خواهد شد. علاوه بر آن به‌کارگیری گوگرد منجر به دفع حشرات و جانوران موزی شده و در صورت انحلال با جریان و انتقال به درون مزرعه می‌تواند به‌عنوان یک ماده ساده مغذی نقش مفیدی را ایفاء نماید.

کلید واژه‌ها: پوشش کانال، هدایت هیدرولیکی خاک، پراکندگی خاک رس، خاک‌های سدیمی.

مقدمه

در سال‌های اخیر خشکسالی‌های پی در پی و افزایش جمعیت، اهمیت حفاظت از منابع آبی را در کشور ایران دو چندان کرده است. بنابر عقیده بسیاری از محققین، خشکی و خشکسالی در ایران یک واقعیت اقلیمی است. بنابراین برای کاهش اثرات سوء آن باید راه‌کار مناسبی را جستجو کرد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک رژیم بارندگی و رودخانه نوسانات زیادی دارند. به‌طور کلی برای تنظیم این نامنظمی‌ها از احداث سد کمک گرفته می‌شود. تقریباً تمامی سدهای ساخته شده در ایران به‌منظور تأمین آب کشاورزی مشترک‌اند. آب موجود در مخزن سد کفایت نیاز آبی گیاهان در اراضی پایین‌دست را در مواقع خشکسالی به‌طور کامل

تأمین نمی‌کند و لذا گیاهان دچار تنش آبی و در نهایت کاهش

محصول خواهند گردید (Ghahraman and Sepaskhah, 2005)

یکی از راه‌کارهای عملی حفظ منابع آبی موجود، کاهش تلفات نشت از کانال‌های خاکی است. به‌کارگیری مصالح مناسب و ارزان می‌تواند به‌عنوان یک راه‌کار عملی برای کاهش تلفات ناشی از نشت در کانال‌ها مورد توجه قرار گیرد. مدیریت صحیح کانال‌های آبیاری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های شبکه‌های آبیاری و زهکشی می‌تواند نقش مؤثری در کاهش تلفات و یا بالا بردن راندمان انتقال و توزیع آب ایفا کند. تجربه نشان داده است که تلفات ناشی از نشت در کانال‌های کوچک و نهرهای درون

اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که کانال پوشش شده با موزائیک خاک سیمان، از میزان نفوذپذیری اندکی برخوردار بوده و پوشش مذکور به فرسایش مقاوم است.

Lashkar-Ara et al. (2008) پوشش بستر و جداره کانال‌های انتقال آب را به‌منظور کاهش تلفات ناشی از نشت آب مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق کربنات سدیم به‌عنوان نمکی که جذب سدیم را روی ذرات خاک بهتر صورت می‌دهد مورد بررسی قرار داده شد. سپس به‌منظور تثبیت ذرات خاک از سیمان استفاده گردید. نتیجه تحقیقات نشان داد که میزان نشت آب در کانال طرح تا ۵۰ درصد میزان نشت از کانال شاهد کاهش نشان می‌دهد. در این تحقیق به‌منظور افزایش میزان مقاومت پوشش در مقابل آبستگي و افزایش دوام آن استفاده از سیمان به میزان ۵ درصد در خاک‌های رسی توصیه شده است.

Ahadiyan et al. (2008) به بررسی ارزیابی پتانسیل کاهش هدررفت آب در رس‌های اشباع برای استفاده در خاک‌ریز کانال‌ها پرداختند. آن‌ها در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که با تغییر میزان تنش اعمال شده بر توده خاک از ۶۰ الی ۱۶۰۰ کیلوپاوند بر مترمربع تلفات نشت از ۷۰ الی ۹۶ درصد (تحت شرایط مشابه برای رس‌های با خاصیت خمیری کم تا متوسط) کاهش نشان می‌دهد.

هدف از این تحقیق معرفی پوششی ارزان به‌منظور کاهش تلفات نشت از کانال‌های درجه ۴ آبیاری و افزایش راندمان انتقال آب در آن‌ها می‌باشد. برای این منظور به‌جای استفاده از ماشین‌آلات سنگین برای افزایش تراکم خاک، استفاده از کربنات سدیم و ضایعات کارخانه‌های قند و شکر توصیه شده است.

مواد و روش‌ها

طبق تحقیقات به‌عمل آمده خاک مناسب برای پوشش، خاکی است که حداقل ۱۵ درصد رس با ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۵ میلی‌اکی‌والان گرم در ۱۰۰ گرم خاک داشته باشد. اصولاً هر چه درصد خاک رس بیشتر باشد این نوع پوشش با مشکلات کمتری قابل اجرا خواهد بود. چنانچه میزان سدیم قابل تبادل در یک خاک رسی بیش از ۱۵ درصد باشد، یون سدیم به‌علت تک ظرفیتی بودن و داشتن بار مثبت با ذرات خاک رس درگیر شده و باعث واگرایی آن می‌گردد. واگرایی ذرات خاک باعث کاهش قابل ملاحظه نفوذپذیری آن می‌شود. این نمک با ایجاد محیطی قلیائی در خاک، کاتیون‌های کلسیم و منیزیم را که باعث به‌هم چسبیدن ذرات خاک می‌گردد، غیرفعال نموده و سدیم به راحتی جایگزین این کاتیون‌ها می‌شود. بنابراین کلسیم و منیزیم از محلول خاک خارج شده و با ایجاد پیوند با CO_3 موجود در محلول خاک به صورت $MgCO_3$ و $CaCO_3$ رسوب می‌نمایند. این رسوب به‌صورت یک لایه دج و غیرقابل نفوذ در زیر بستر کانال باقی می‌ماند و سدیم باقی‌مانده روی ذرات رس از استحکام بیشتری برخوردار خواهد بود. سطح خاک سدیم‌دار از قشر سختی پوشیده

مزرعه معمولاً بیشتر از کانال‌های انتقال است. یکی از فاکتورهای بسیار مهم در تعیین نشت، آبگذری مواد تشکیل‌دهنده بستر و جداره کانال است که تابع اندازه خلل و فرج در آن است. هر چه اندازه خلل و فرج خاک کاهش یابد آبگذری تقریباً به نسبت توان دوم قطر خلل و فرج خاک کاهش می‌یابد. به همین دلیل آبگذری رس‌ها معمولاً از سایر مصالح کمتر است. بنابراین هر عاملی که این خلل و فرج را از نظر اندازه و یا از نظر درصد کاهش دهد، می‌تواند نفوذپذیری را کاهش داده و مانع از نشت گردد (USBR, 1963).

Chawla و Garg (1970) در مطالعات خود نشان دادند که در سیستم کانال‌های آبیاری غیرپوششی، تلفات نشت خیلی بالا است. در برخی از سیستم‌های آبیاری، مقدار آبی که در داخل زمین نفوذ پیدا می‌کند بیشتر از ۵۰ درصد می‌باشد.

Khair et al. (1991) به انجام مطالعات آزمایشگاهی برای ارزیابی اثر جریان آب در یک کانال با پوشش موزائیک خاک سیمان پرداختند. آزمایش‌ها در یک فلوم، با طول ۳ متر و عرض ۱۰۰ میلی‌متر به اجرا درآمد که با موزائیک اندود شده بود و در معرض جریانی با سرعت ۲ متر بر ثانیه برای یک دوره ۷ روزه قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که پوشش‌های خاک سیمان با ضخامت ۲ میلی‌متر در برابر فرسایش ناشی از جریان آب مقاومت نشان می‌دهد و تلفات نشت در کانال‌های اندود شده که با موزائیک خاک-سیمان پوشیده شده‌اند، نمی‌تواند بیشتر از ۰/۰۰۳۴۳ تا ۰/۰۰۳۴۳ متر مکعب بر مترمربع در روز باشند.

Newton و Aylward (2006) مقدار تلفات آب را برای یک کانال خاکی به طول ۸/۲ کیلومتر، ۲۵ درصد تعیین نمودند و حجم تلفات را در مدت ۲۱۰ روز از فصل آبیاری ۱۱/۹ میلیون مترمکعب در نظر گرفتند. نتایج تحقیقات آنان نشان داد که با کنترل تلفات حدود ۳۰ تا ۴۵ درصد از آب مصرفی کاسته خواهد شد و همچنین تلفات آب در کانال، رابطه مستقیم با آبدهی دارد.

Rahimi و Bazaz (1993) به بررسی پوشش کانال‌های آبیاری با استفاده از مواد شیمیایی (کربنات سدیم و مالچ نفتی) پرداختند. نتایج نشان داد که اختلاط کربنات سدیم و مالچ نفتی می‌تواند میزان دبی نشت از کانال‌های خاکی را تا ۹۵ درصد کاهش داده و فرسایش‌پذیری پوشش نیز کم و در حد قابل قبول است.

Rahimi و Abbassi (2002) در تحقیق خود از موزائیک خاک و سیمان با ابعاد $۲۰ \times ۳۰ \times ۵$ سانتی‌متر برای پوشش کانال‌های آبیاری استفاده کردند. آن‌ها آزمایش‌های خود را در یک نهر پایه‌دار با سطح مقطع دوزنقه‌ای با عرض کف ۲۰ سانتی‌متر، شیب شیروانی ۱: ۱/۵، شیب طولی ۰/۵ درصد و با طول مفید ۱۰ متر انجام دادند. بر اساس آزمایش‌های انجام شده میزان نفوذپذیری پوشش کانال در حدود ۱/۵ لیتر در مترمربع در روز

نمونه‌ها قرار گیرد. برای این منظور با نمونه‌گیری‌های متعدد در منطقه، نمونه‌هایی انتخاب گردیدند که روند تغییرات رس آن‌ها بین ۱۰ تا ۳۰ درصد گزارش شده است.

پس از بازدیدهای میدانی و مشورت با کارشناسان خبره شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری ناحیه شمال خوزستان، حدود ۱۰ نمونه خاک از مناطق مختلف تهیه گردید. شکل (۱) محدوده‌ی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

از آنجایی که ملاک انتخاب نمونه‌ی نهایی برای انجام آزمایش، میزان رس موجود در آن می‌باشد لذا با انجام آزمایش هیدرومتری نسبت به تعیین بافت خاک کلیه ۱۰ نمونه‌ی اولیه اقدام گردید. به منظور گسترش دامنه‌ی کاربرد نتایج این تحقیق تلاش گردید تا یکی از نمونه‌ها از مناطقی انتخاب شود که به اصطلاح، خاک آن دچار مشکل است. به این مفهوم که شرایط قلیایی بودن خاک در آن قابل توجه بوده و در ظاهر با شرایط طرح پیشنهادی سازگار نمی‌باشد. برای این منظور نمونه‌ی دیگری از منطقه‌ای در نزدیکی هفت تپه تهیه و به جمع نمونه‌های مورد بررسی اضافه گردید. نتایج آزمایش هیدرومتری تعیین بافت خاک نمونه‌های انتخابی برای انجام تحقیق در جدول (۱) خلاصه شده است. بر اساس این نتایج ملاحظه می‌گردد که نمونه‌های بافت خاک مورد استفاده در تحقیق شامل بافت‌های لومی، سیلتی-لومی و سیلتی-رسی-لومی می‌باشند.

ظرفیت تبادل کاتیونی C.E.C یکی از خصوصیت‌های خیلی مهم خاک می‌باشد که با استفاده از آن پتانسیل حاصل خیزی خاک تعیین می‌شود. ظرفیت تبادل کاتیون یک خاک، اهمیت فوق‌العاده‌ای در خواص فیزیکی و شیمیایی آن دارد و از آن به‌عنوان یک مشخصه تعیین نوع خاک استفاده می‌شود. ظرفیت تبادل کاتیونی، یک بیان کمی از مقدار بار منفی به ازای مقدار مشخص خاک یا به عبارت دیگر ظرفیت جذب کاتیون‌ها از محلول است. مواد آلی و رس خاک، جزء منابع اصلی بار خاک محسوب می‌شوند. در خاک‌هایی با مقدار مواد آلی بیشتر، ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر، ظرفیت نگهداری آب بالاتر و بالاخره از سلامت بهتری نسبت به خاک‌هایی با مقدار مواد آلی کمتر برخوردار هستند. افزایش آب نگهداری شده و یا افزایش کربن آلی به‌علت وجود بارهای منفی سطح مواد آلی است و این موضوع برای خاک‌های شنی با اندازه‌گیری C.E.C ثابت می‌شود.

هر چه واکنش خاک قلیایی‌تر شود یا به عبارتی PH خاک بالاتر رود ظرفیت تبادل کاتیونی خاک افزایش می‌یابد و برعکس هر چه واکنش خاک پایین‌تر رود ظرفیت تبادل آنیونی افزوده می‌شود. وجود میزان رس نمونه‌ها در جذب کاتیون‌ها بسیار مؤثر است زیرا فعل و انفعالات شیمیایی صورت گرفته بین ذرات رس و کاتیون‌های نمک سدیم منجر به رسوب کلسیم از یک سو و تخریب بافت خاک از سوی دیگر می‌شود. این عمل در راستای کاهش ضریب نفوذپذیری نقش کلیدی بازی می‌نماید.

می‌شود که مانع جوانه زدن بذر خواهد بود و بدین ترتیب رشد علف‌های هرز در این خاک نیز متوقف یا کند می‌شود. بر این اساس باید به خاک بستر و جداره کانال تا حدی کربنات سدیم افزود که میزان سدیم قابل تبادل آن، شرایط لازم جهت واگرایی را فراهم آورد. به‌طور کلی برای واگرا کردن ۱۰۰ گرم خاک رس کافی است به اندازه ۱۵ درصد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، نمک سدیم به آن اضافه نمود. مقدار دقیق کربنات سدیم را می‌توان از رابطه زیر به‌دست آورد.

$$Na_2CO_3 = 0.055 \times (0.15 \times C.E.C - E.S.P) \quad (1)$$

رابطه (۱) میزان کربنات سدیم مورد نیاز در ۱۰۰ گرم خاک خشک را نشان می‌دهد، بنابراین با مشخص شدن ابعاد هندسی کانال، وزن مخصوص خاک و ضخامت پوشش می‌توان با استفاده از رابطه (۲) میزان وزنی کربنات سدیم را برای طول کانال محاسبه نمود.

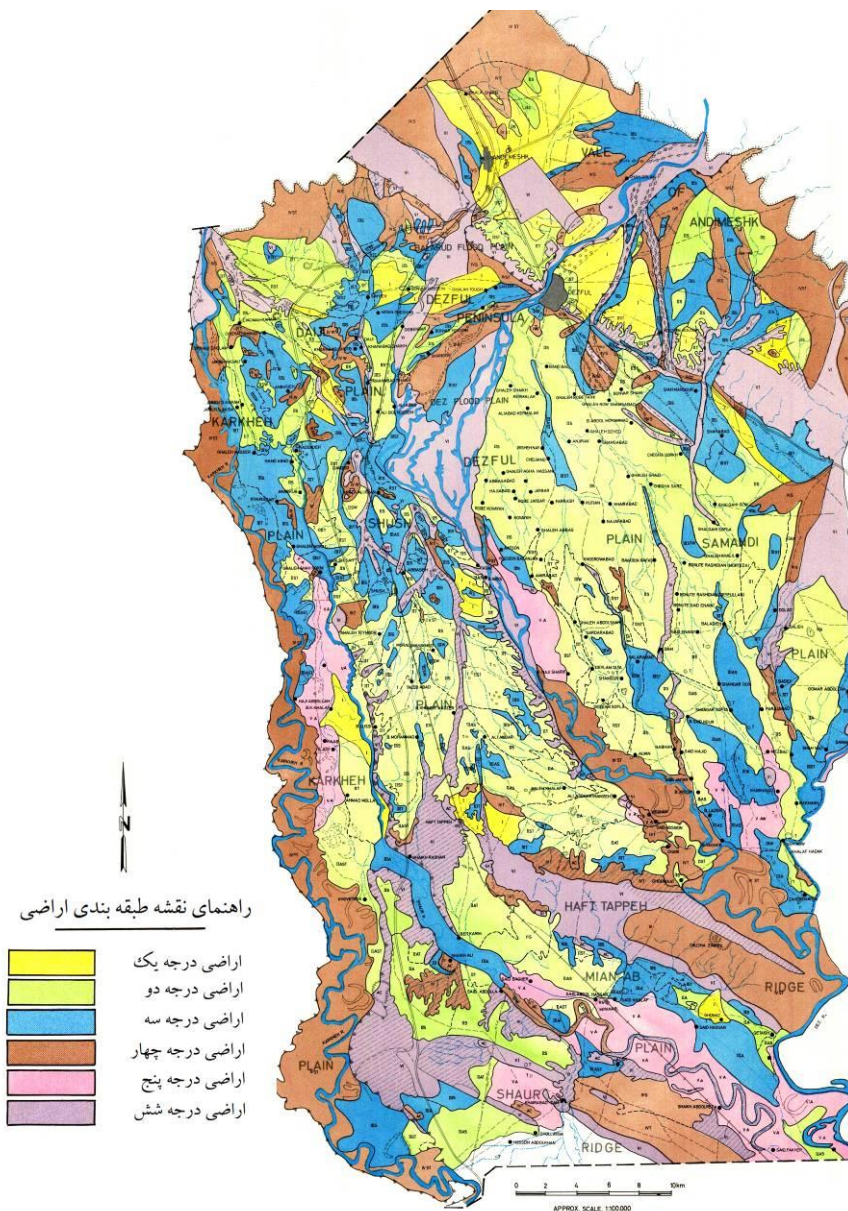
$$Na_2CO_3 = 0.055 \times P \times d \times \rho_s \times (0.15 \times C.E.C - E(\$)P)$$

پارامترهای روابط (۱) و (۲) به ترتیب عبارتند از:

Na_2CO_3 : میزان کربنات سدیم در واحد طول کانال (کیلوگرم)، P : محیط خیس شده کانال (متر)، d : ضخامت جداره و کف کانال که باید با کربنات سدیم مخلوط شود (متر)، ρ_s : وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، C.E.C (Cation Exchange Capacity): ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی اکی والان گرم در صد گرم خاک خشک)، E.S.P (Exchangeable Sodium Percentage): سدیم قابل تبادل خاک (میلی اکی والان گرم در صد گرم خاک) است.

اما باید به این نکته توجه داشت که ترکیب حاصل از خاک رس و کربنات سدیم چسبندگی بین این دو عنصر را کاهش داده و به‌علت واگرایی ذرات خاک، مقاومت آن در مقابل آبشستگی کاهش می‌یابد. به‌منظور جلوگیری از فرسایش‌پذیری خاک، استفاده از یک ماده چسبنده طبیعی ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا بررسی‌های کتابخانه‌ای نشان داد که به‌کارگیری ملاس نیشکر در تثبیت خاک جداره‌های کانال‌های خاکی مورد استفاده قرار نگرفته است. لذا در این تحقیق به‌کارگیری درصد‌های مختلف از ملاس نیشکر نیز در دستورکار تحقیق قرار گرفت.

در این تحقیق محدوده شبکه‌های آبیاری ناحیه شمال خوزستان شامل شبکه‌های دز و شاوور مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌های کتابخانه‌ای و میدانی نشان داد که خاک‌های غالب شمال این دشت به‌خصوص در محدوده شبکه دز عمدتاً دارای رخنمون خاک‌های سنگین تا سبک هستند. با توجه به وجود لایه‌های رسی در منطقه این اندیشه تداعی گردید که روند تغییرات میزان رس موجود در خاک، به‌عنوان مبنای اصلی انتخاب



شکل ۱- محدوده منطقه ی مورد مطالعه- شبکه آبیاری و زهکشی دز (Veenenbos with FAO 1968)

جدول ۱- نتایج هیدرومتری تعیین بافت خاک نمونه‌ها

شماره نمونه	درصد رس	درصد سیلت	درصد ماسه	نوع بافت خاک
* ۱	۱۰	۶۲	۲۸	Si.L
* ۲	۱۵	۴۵	۴۰	L
۳	۱۸	۴۹	۳۳	L
* ۴	۲۰	۴۲	۳۸	L
۵	۲۰	۴۲	۳۸	L
۶	۲۰	۴۵	۳۵	L
۷	۲۱	۴۸	۳۱	L
۸	۲۲	۴۴	۳۴	L
۹	۲۳	۳۶	۴۱	L
* ۱۰	۳۰	۵۶	۲۴	Si.C.L

* طبق نتایج آزمایش‌ها مقدار درصد رس بین ۱۰ تا ۲۰ درصد گزارش شده است.

در نظر گرفت (Tahooni, 2015). این رابطه به صورت زیر بیان می‌شود.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (5)$$

که در آن: τ : مقاومت برشی، c : چسبندگی، σ : تنش قائم، ϕ : زاویه اصطکاک داخلی ذرات است.

ذکر این نکته ضروری است که هر چند ملاس به عنوان یک ماده‌ی طبیعی از چسبندگی برخوردار بوده و قادر است تا ساختمان متلاشی شده‌ی خاک را به خوبی به هم بچسباند ولی نباید فراموش کرد که به دلیل حلال بودن آن در آب از یک سو و برخورداری از طعم شیرین از سوی دیگر ممکن است با مشکلات خاص خود مواجه باشد. در این میان می‌توان به آبستگی و تجمع حشرات اشاره نمود. برای مقابله با این عوامل محدودکننده، استفاده از گوگرد پیشنهاد گردید. مطالعات پیشین نشان داده است که ترکیب خاک و گوگرد قادر است تا مقاومت برشی خاک را افزایش دهد. (Mohammadi et al., 2015). اضافه نمودن گوگرد نیز سبب اصلاح این خاک‌ها می‌شود. گوگرد پس از اکسید شدن تبدیل به اسید سولفوریک می‌شود. این اسید نه تنها نمک‌های کربنات را به سولفات تبدیل می‌کند، بلکه با کاهش PH از شدت قلیائیت خاک می‌کاهد. همچنین از آنجایی که پایه اصلی تولید حشره‌کش‌ها گوگرد است، لذا پوشش ایجاد شده روی جداره کانال از نقطه نظر تهاجم حشرات نیز مصون خواهد بود. به منظور تعیین میزان گوگرد مورد نیاز برای حفاظت از پوشش پیشنهادی مقرر گردید تا سطح پوششی که از کمترین میزان نشت را به واسطه‌ی استفاده از کربنات سدیم و بیشترین میزان چسبندگی را به واسطه استفاده از ملاس برخوردار است مورد آزمون آبستگی قرار گیرد. برای این منظور از یک فلوم آزمایشگاهی به عرض ۶۰ سانتی‌متر استفاده گردید. در کف این فلوم چهار قالب به گونه‌ای جاسازی گردید که امکان بررسی اثر پوشش حفاظتی گوگرد به ازای درصدهای مصرفی صفر، ۲، ۴ و ۶ درصد میسر گردد. به منظور ایجاد لایه‌ی محافظ گوگردی ضرورت دارد تا لایه‌ی سطحی با غلظت داغ اتوکشی شود. حرارت حاصل از عمل اتوکشی لایه سطحی منجر به تشکیل یک زنجیره از لایه‌ی گوگرد در سطح پوشش خاکی خواهد شد که توانایی تثبیت خاک را در مقابل جریان آب عبوری در فلوم افزایش خواهد داد. برای اندازه‌گیری میزان شدت جریان عبوری از فلوم مورد استفاده از یک دستگاه کنتور الکترومغناطیس استفاده گردید. همچنین به منظور سنجش عمق آبستگی ایجاد شده بر روی نمونه‌ها از یک دستگاه عمق سنج استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس روندی که برای انجام این تحقیق در بخش قبل توضیح داده شد از میان نمونه‌های تهیه شده، تعداد چهار نمونه به گونه‌ای انتخاب گردید که روند تغییرات رس در آن‌ها بتواند

در این پژوهش به منظور تعیین میزان نفوذپذیری نمونه‌های تهیه شده از آزمایش بار افتان استفاده شده است. ذکر این نکته ضروری است که با توجه به این که نمونه‌ها در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفته‌اند لذا نتایج این تحقیق در راستای اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری با نمونه‌های دست خورده در حالت اشباع مطابقت خواهد داشت. برای این منظور قبل از شروع آزمایش کلیه نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب قرار داده شدند تا به حالت اشباع درآیند. پس از حصول اطمینان از اشباع شدن کامل خاک نمونه و هواگیری سیستم، آزمایش آغاز می‌گردد. با ثبت مقادیر افت تراز سطح آب در استوانه مدرج در طی زمان‌های مساوی، امکان تعیین میزان ضریب نفوذپذیری با استفاده از رابطه (۳) فراهم خواهد شد.

$$K = \frac{aL}{At} 2.303 \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (3)$$

که در آن a : سطح مقطع استوانه مدرج، L : طول نمونه، A : سطح مقطع نمونه، t : انقضای زمان بر حسب ثانیه، h_1 : بار آبی یا ارتفاع آب روی نمونه قبل از شروع آزمایش یا در زمان $t=0$ بر حسب سانتی‌متر، h_2 : بار آبی یا ارتفاع آب روی نمونه در پایان آزمایش یا در زمان $t=T$ بر حسب سانتی‌متر.

با توجه به آن که در شرایط محیط مزرعه، آب جاری شده در کانال منجر به اشباع شدن جداره‌ها می‌شود و پس از خاتمه عملیات آبیاری و قطع آب، کانال خشک می‌گردد، لذا شرایط بهره‌برداری به گونه‌ای است که منجر به تغییر فشار آب منفذی در جداره کانال خواهد شد.

این مسأله به خصوص در ناحیه‌هایی که بافت خاک از نوع رسی باشد احتمال روانگرایی و لغزش جداره را به همراه دارد. از طرفی متلاشی شدن ساختمان خاک توسط نمک‌های سدیمی منجر به افزایش احتمال لغزش سطوح جانبی کانال خواهد شد. برای این منظور آگاهی از خصوصیات مقاومت برشی خاک ضروری است. برای این منظور لازم است تا آزمایش‌هایی برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی صورت پذیرد. این عمل با استفاده از دستگاه برش مستقیم که یکی از ساده‌ترین و پرکاربردترین آزمایش‌های مقاومت برشی خاک است تحت شرایط اشباع کامل تعیین خواهد شد. هدف از این آزمایش برش خوردن نمونه از سطح اجباری و تعیین پارامترهایی نظیر چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی خاک (ϕ) است. که بر اساس معیار گسیختگی مور-کولمب تعیین خواهد شد. طبق تئوری مور-کولمب رابطه بین مقاومت برشی و تنش‌های عمودی در سطح گسیختگی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\tau = f(\sigma) \quad (4)$$

در اغلب مسائل مکانیک خاک با دقت کافی می‌توان مقاومت برشی در روی صفحه گسیختگی را یک تابع خطی از تنش قائم

کاتیون‌های کلسیم و منیزیم را فراهم آورده و نهایتاً منجر به متلاشی شدن ساختمان خاک می‌گردند، لذا تعیین میزان هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، ظرفیت سدیم قابل تبادل و ظرفیت تبادل کاتیونی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کلیه نتایج آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک‌ها در جدول شماره (۲)، (۳) و (۴) نشان داده شده‌اند.

به‌عنوان یک سناریو در نتایج تحقیق ایفای نقش نماید. علاوه بر آن یکی از چهار نمونه نیز از خاک‌های مشکل‌دار (خاک قلیایی) انتخاب گردید. نمونه‌های انتخابی به‌صورت ستاره‌دار در جدول (۱) نمایش داده شده‌اند. از آنجائی که اولویت اول تحقیق حاضر کنترل نشت در کانال‌های خاکی با به‌کارگیری نمک‌های سدیمی است و این نمک‌ها به واسطه قلیایی نمودن محیط، شرایط غیرفعال شدن

جدول ۲- نتایج آزمایش‌های شیمیایی نمونه خاک‌های مورد استفاده در نمونه خاک‌ها مختلف

شماره نمونه	هدایت الکتریکی (میلی موس)	PH	درصد اشباع	نیتروژن کل	درصد کربن آلی	نسبت جذب سدیم	سدیم قابل تبادل خاک	ظرفیت تبادل کاتیونی
۱	۱/۶	۷/۵	۳۶/۷	۳۵۰	۰/۲۴	۲/۲	۰/۴۲	۱۰/۵
۲	۰/۱۸۵	۷/۵	۳۳/۴	۸۵۰	۰/۲۱	۱/۸	۰/۴۴	۱۱
۳	۰/۳۵	۷/۶	۴۰	۳۲۰	۰/۰۵	۰/۷۲	۱/۳	۱۱
۴	۱۸	۷/۶	۵۴/۲	۵۳۰	۰/۲۴	۸/۵	۲	۲۱/۸

جدول ۳- تجزیه آنیون‌ها در نمونه خاک‌های مختلف

شماره نمونه	سولفات میلی گرم در لیتر	کلر میلی گرم در لیتر	بیکربنات میلی گرم در لیتر	مجموع آنیون‌ها میلی اکی والان گرم در لیتر
۱	۸	۵	۴	۰/۳۸
۲	۴/۵	۲	۲	۰/۱۷
۳	۵۵	۳۵/۵	۱۲۰	۴/۲
۴	۵۰	۶۰	۱	۲/۷۴

جدول ۴- تجزیه کاتیون‌ها در نمونه خاک‌های مختلف

شماره نمونه	پتاسیم میلی گرم در لیتر	منیزیم میلی گرم در لیتر	کلسیم میلی گرم در لیتر	سدیم میلی گرم در لیتر	مجموع کاتیون‌ها میلی اکی والان گرم در لیتر
۱	-	۵/۶	۶/۴	۵/۵	۱/۰۳
۲	-	۲/۸	۳/۲	۳	۰/۵۲
۳	۲/۵	۱۰	۴۰	۲۰	۳/۷
۴	-	۲۸	۳۲	۴۶/۷	۵/۹۷

نشان داده است.

بررسی نتایج حاصل از نمونه‌های شماره ۱، ۲ و ۳ نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار پارامترهای مقاومت برشی به ازای ترکیب با ۱۰ درصد ملاس حاصل شده است. در حالی که در نمونه شماره ۴ علی‌رغم برخورداری از میزان ۳۰ درصد رس، نتیجه بیش‌ترین مقدار چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی از ترکیب نمونه خاک با ۶ درصد ملاس حاصل شده است.

به‌منظور پیشگیری از انحلال‌پذیری ملاس در آب و ایجاد شرایط آبشستگی از یک‌سو و هم‌چنین برای جلوگیری از تجمع حشرات از سوی دیگر باید تمهیداتی صورت پذیرد. بر اساس دستورالعمل بیان شده در بخش مواد و روش‌ها برای رفع مشکل فرسایش از یک لایه‌ی حرارت دیده‌ی گوگردی استفاده گردید. غشای زنجیره‌ای ایجاد شده توسط گوگرد پس از اتوکشی توسط غلطک داغ طوری در سطح خاک گسترانده می‌شود که به‌صورت یک لایه‌ی جوشنی مقاومت خاک را در مقابل آبشستگی افزایش می‌دهد. برای ارزیابی عملکرد این روش، لایه‌ی سطحی خاک با درصد‌های مختلف گوگرد پوشانده شد. این عمل با ترکیب ۲، ۴ و ۶ درصد وزنی از خاک خشک نمونه‌ها انجام گردید. در شکل (۲-الف) نحوه‌ی آماده‌سازی نمونه و در شکل‌های (۲-ب) الی (۲-ه) نمونه‌های ساخته شده با ترکیب مختلف گوگرد پس از آزمون آبشستگی نمایش داده شده‌اند.

به‌منظور بررسی اندرکنش میزان کربنات سدیم و رس موجود در خاک بر هدایت هیدرولیکی و مقایسه با نتایج حاصل از رابطه (۱) سناریوهایی تدوین گردید. برای این منظور مقرر گردید تا در هریک از نمونه‌های خاک، به میزان ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ درصد وزنی خاک خشک، کربنات سدیم به نمونه افزوده شود و میزان هدایت هیدرولیکی مورد ارزیابی قرار گردید. ضریب نفوذپذیری مخلوط حاصله پس از آن‌که به اشباع کامل درآمد به روش بار افتان اندازه‌گیری شد. در این بررسی میزان حجم آب خارج شده از هر یک از نمونه‌ها در مدت ۲۰ دقیقه طی زمان‌های متوالی ثبت گردید. نتایج در جدول (۵) نشان داده شده‌اند. بر اساس این نتایج ملاحظه می‌گردد که میزان هدایت هیدرولیکی با افزایش درصد به‌کارگیری کربنات سدیم کاهش یافته است.

همان‌طوری‌که در بخش مواد و روش‌ها نیز بیان شد برای تعیین زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی خاک نمونه‌ها از نمودار گسیختگی مور-کولمب استفاده گردید. بدین منظور با ارزیابی مقاومت برشی نمونه در مقابل تنش فشاری (تنش ناشی از سربار قائم در آزمایش برش مستقیم) در لحظه گسیختگی نمونه، نسبت به تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک اقدام شد. برای این منظور با ترکیب ۲ الی ۱۲ درصد وزنی ملاس به هر یک از نمونه‌ها مقادیر زاویه اصطکاک داخلی و ضریب چسبندگی در هر یک از سناریوها تعیین و نتایج مربوطه در جدول (۶) خلاصه گردید. بررسی نتایج نشان می‌دهد که مقادیر چسبندگی و ضریب اصطکاک با افزایش درصد‌های به‌کارگیری ملاس نیشکر افزایش

جدول ۵- مقادیر ضریب هدایت هیدرولیکی به ازای ترکیب با درصد‌های مختلف کربنات سدیم

میزان نفوذ پذیری در نمونه‌ها (10^{-7} سانتی متر بر ثانیه)				کربنات سدیم	
شماره ۴	شماره ۳	شماره ۲	شماره ۱	درصد	
۹/۳۸	۱/۷۹	۱/۴۹	۰/۰۶۷	۰	
۹/۲۵	۱/۰۳	۱/۲۷	۰/۰۵۶	۲	
۸/۱۱	۰/۸۴	۰/۹۹	۰/۰۵۳	۴	
۷/۲۴	۰/۶۶	۰/۷۲	۰/۰۴۸	۶	
۶/۳۰	۰/۵۷	۰/۶۳	۰/۰۴۱	۸	
۵/۵۴	۰/۵۱	۰/۵۳	۰/۰۳۹	۱۰	

جدول ۶- مقادیر پارامترهای مقاومت برشی (C و Φ) به ازای ترکیب با ملاس

درصد ملاس	چسبندگی C (کیلوپاسکال)				زاویه اصطکاک داخلی Φ (درجه)			
	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴
۰	۱۷/۳	۱۱/۲۷	۱۷/۰۸	۱۹/۲۵	۱۶/۲	۱۵/۵	۲۱/۱۷	۱۸/۱۲
۲	۲۳/۳۳	۱۹/۴۳	۲۹/۱۶	۲۶/۷۲	۱۷/۱	۱۶/۴	۱۹/۲۳	۱۹/۲۳
۴	۲۷/۲۱	۲۵/۶۶	۲۹/۷۴	۳۶/۷۴	۱۷/۵	۱۷/۲	۲۰/۹۶	۲۰/۹۶
۶	۳۴/۴	۳۱/۲	۳۲/۳۹	۴۲/۷۶	۱۷/۸	۱۹/۰۵	۲۱/۰۶	۲۱/۰۶
۸	۵۲/۸۸	۴۰/۸۱	۳۸/۸۸	۲۲/۹۳	۲۰/۸	۲۱/۳۲	۱۸/۷	۱۶/۴۵
۱۰	۵۶/۳۷	۴۵/۶۸	۴۲/۷۶	۱۶/۵۲	۲۱/۵	۲۲/۵۰	۱۸/۹	۱۸/۹
۱۲	۴۰/۸۱	۳۱/۶۱	۳۱/۸	-	۱۹/۶۵	۲۵	۵/۸۳	-

واگرایی حاصله در خاک، عملاً استفاده از این پوشش را غیرممکن می‌سازد.

پس از تعیین درصد رس در خاک‌های فاقد مشکل، مطابق با نتایج این تحقیق نسبت به ترکیب کربنات سدیم و ملاس در لایه اول اقدام شود. سپس در رطوبت مناسب نسبت به تراکم دستی لایه با استفاده از ابزاری همچون تخماق به صورت درجا اقدام نمود. در مرحله‌ی بعد با پخش ۲ درصد وزنی گوگرد در سطح لایه‌ی پوشش، نسبت به غلطک‌زنی داغ لایه اقدام نمود. شکل (۳) لایه‌های پیشنهادی در این پوشش را نشان می‌دهند.

مشاهدات نشان داد که اضافه شدن گوگرد به لایه‌ی سطحی مشمرثر بوده و حتی با اضافه شدن کمترین مقدار ممکن (۲ درصد) مسأله فرسایش تا حد قابل توجهی کنترل می‌شود. به‌منظور اجرای این نوع پوشش تحت شرایط محیط مزرعه توصیه‌های زیر ارائه می‌گردد.

ابتدا پس از نمونه‌گیری و تعیین بافت خاک و خصوصیات شیمیایی خاک، از عدم قلیایی بودن خاک اطمینان حاصل شود. نتایج این تحقیق نشان داد که به‌واسطه آن که استفاده از کربنات سدیم منجر به تشدید خصوصیات قلیایی خاک خواهد شد لذا



(ا) ۶ درصد گوگرد

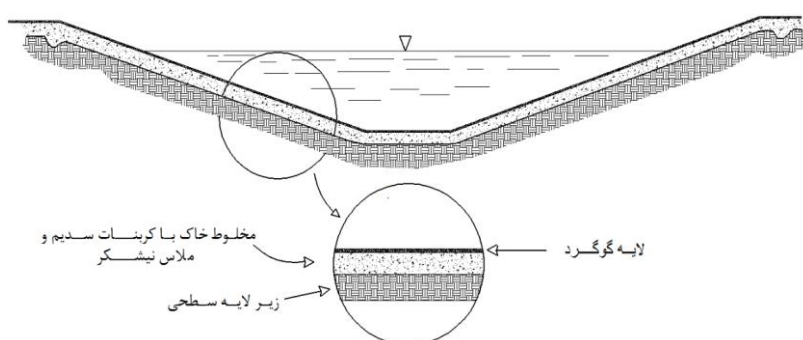
(ب) ۴ درصد گوگرد

(ج) ۲ درصد گوگرد

(د) بدون غشای گوگرد

(ه) اتوکشی سطح نمونه با غلطک داغ

شکل ۲- نمایی از مراحل آماده سازی نمونه‌ی اتوکشی شده و نمونه‌های مورد آزمون آبستگي تحت درصدهای مختلف گوگرد



شکل ۳- نحوه قرارگیری لایه‌های مختلف پوشش کانال

نتیجه گیری

بر اساس نتایج به دست آمده از کلیه آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق نتیجه‌گیری و توصیه‌های زیر ارائه می‌شود. در کانال‌هایی که استفاده از ماشین‌آلات برای متراکم نمودن مخلوط خاک در محل با مشکل مواجه بوده و یا غیرممکن باشد می‌توان از یون کربنات سدیم به عنوان یک ماده واگرا و کاهش‌دهنده خلل و فرج استفاده نمود. بر اساس نتایج به دست آمده در این تحقیق افزایش ۱۰ درصدی کربنات سدیم به خاک، میزان نفوذپذیری آن را به صفر تقلیل می‌دهد. بدون شک کاهش نشت از کانال‌های آبیاری بسیار حائز اهمیت است. افزایش ملاس به خاک منجر به افزایش پارامترهای مقاومت برشی خاک می‌گردد. بررسی‌ها نشان داد که ترکیب ۶ الی ۱۰ درصد وزنی ملاس به خاک منجر به افزایش چشم‌گیر خصوصیات برشی خاک

می‌گردد. نتایج رضایت‌بخش آزمایش‌های تعیین میزان نفوذپذیری و فرسایش‌پذیری در کانال مفروش شده با موزائیک‌های ساخته شده از خاک با درصدهای مختلف کربنات سدیم و ملاس نیشکر و درصد اندکی گوگرد نشان داد که این ماده تمام معیارهای مورد نیاز جهت پوشش کانال‌های آبیاری سنتی را به نحو مطلوبی تامین می‌کند. هزینه اجرائی این نوع پوشش نسبت به پوشش‌های رایج بسیار کم می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نگارندگان این پژوهش از دانشگاه صنعتی چندی‌شاپور به پاس تامین منابع مالی و تدارک امکان استفاده از آزمایشگاه مدل‌های هیدرولیکی و مهندسی رودخانه تقدیر و تشکر می‌نمایند.

منابع

- 1- Ahdiyan, J., Nasr Esfahani, M.J., Shafai Bajestan, M., and Karimi, G.H., 2008. Evaluation of the Potential for water loss in saturated clay for use in Duct Canals. In 2nd Irrigation and Drainage Network Management National Conference, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.(in Persian).
- 2- Aylward, B. and Newton, D., 2006. Long-Range water resources management in Central Oregon: Balancing supply and demand in the Deschutes basin DWA Final Report.
- 3- Garg, S.P. and Chawla, A.S., 1970. Seepage from trapezoidal channels. Journal of the Hydraulics Division, 96(6):1261-1282.
- 4- Ghahraman, B., Sepaskhah, A., 2005. Reservoirs Operation Management, Iran Water Resources Research, 1(2):1-15.(in Persian).
- 5- Khair, A., Nalluri, C. and Kilkenny, W.M., 1991. Soil-cement tiles for lining irrigation canals. Irrigation and Drainage Systems, 5(2):151-163.
- 6- Lashkar-Ara, B., Fathi-Moghadam, M., Behnia, A.K. and Changelvaie, K., 2008. Chemical lining of canal walls using sodium salts, in 2nd Irrigation and Drainage Network Management National Conference, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.(in Persian).
- 7- Mohammadi, A., Dehestani, M., Shooshpasha, I. and Asadollahi, S., 2014. Mechanical properties of sandy soil stabilized with modified sulfur. Journal of Materials in Civil Engineering, 27(4), p.04014140.
- 8- Rahimi, H and Abbassi, N. 2002. Failure of Irrigation Canal Lining on Sandy Soils (A Case Study, Saveh Irrigation Network. Iranian Journal of Agriculture Science, 33(4): 671-682.(in Persian).
- 9- Rahimi, H and Bazaz, M., 1993. Irrigation Canal lining by Chemically Treated Soils. Iranian Journal of Agriculture Science, (1): 37-52.(in Persian).
- 10-Tahooni., S., (Translator) 2015. Geotechnical Engineering Principles Volume I. Pars Publishing Ayin. ISBN 4-08-6436-964-978.(in Persian).
- 11-USBR, 1963. Linings for Irrigation Canals. United States Department of Interior Bureau of Reclamation, USBR, Fort Collins.
- 12-Veenenbos, J.S. with F.A.O. of the United Nations, 1968. Unified report of the soil and land classification of Dezful project, Khuzestan, Iran. pp 12-14.