

## بررسی علل شکستگی‌های پوشش بتنی کانال‌های انتقال آب (مطالعه موردی کانال اصلی شبکه آبیاری شبانکاره)

نادر عباسی<sup>۱\*</sup> و رضا بهراملو<sup>۲</sup>

۱- دانشیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران  
۲- استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران  
تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۲۲

### چکیده

در این پژوهش، علل ترک خوردگی و شکستگی‌های پوشش بتنی کانال اصلی انتقال آب دشت شبانکاره بررسی شده است. ابتدا در چند نوبت از محل پروژه بازدید شد و با حفر چال‌های شناسایی، از عمق‌های مختلف نمونه‌هایی تهیه گردید. نمونه‌های اخذ شده مورد آزمایش‌های شناسایی، تعیین پتانسیل واگرایی و تعیین میزان گچ قرار گرفتند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که خرابی‌ها به واسطه نشست بستر کانال بوده است. این موضوع، مشکل آفرین بودن خاک بستر را به اثبات رساند. نتایج آزمایش‌های واگرایی نشان داد در برخی از نمونه‌های خاک منطقه پتانسیل واگرایی فیزیکی وجود دارد ولی چون این نوع خاک‌ها به صورت رگه‌های با ضخامت کم در نقاط مختلف بدون الگوی خاص پراکنده‌اند، نمی‌تواند عامل اصلی تخریب‌ها محسوب شود. نتیجه آزمایش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی، و به‌ویژه مقدار گچ خاک، نشان داد اغلب نمونه‌ها حاوی مقادیر قابل توجهی گچ از حدود یک تا نزدیک به ۷۰ درصد هستند و خرابی‌ها نیز در مناطقی رخ داده که میزان گچ در آنها زیاد بوده است. بدین ترتیب عوامل ژئوتکنیکی، یعنی وجود توده‌های گچی و فراهم شدن شرایط انحلال در اثر جریان آب، عامل ایجاد ترک خوردگی و خراب شدن کانال انتقال آب شبانکاره شناخته شد.

### واژه‌های کلیدی

تخریب پوشش بتنی، خاک مشکل‌آفرین، شبانکاره، کانال آبیاری

### مقدمه

روش‌های پوشش، در ایران روش پوشش بتنی رواج دارد که غالباً با هزینه‌های بسیار زیادی نیز همراه است (Abbasi, 2011). یکی از مشکلات متداول پوشش کانال‌های آبیاری خراب شدن و شکستگی پانل‌های بتنی در دوره بهره‌برداری از کانال‌هاست (Abbasi & Rahimi, 2006). این مشکل اغلب معلول عوامل متعددی است مانند: مسائل طراحی، اجرا، کیفیت مصالح مورد استفاده، وضعیت بهره‌برداری و نگهداری، مسائل اجتماعی و

پوشش کانال‌های آبیاری به‌منظور جلوگیری از تلفات نشست آب، ایجاد بستر مقاوم در برابر فرسایش، و دلایل خاص دیگر، از روش‌های عملی افزایش راندمان انتقال و استفاده بهینه از منابع محدود آب، در نیم قرن اخیر مورد توجه خاص بهره‌برداران و متولیان صنعت آب در مناطق خشک جهان و به‌ویژه ایران بوده است. به‌رغم این تجربه دارای سابقه طولانی و به‌رغم تنوع در کیفیت و انواع

و طالبی (Golabetoonchi & Talebi, 2001) در مطالعات خود درباره علل خراب شدن پوشش بتنی کانال‌های مناطق مختلف ایران، از جمله شبکه پلدشت در شمال خوزستان، شبکه حروق چای و صوفی چای در آذربایجان شرقی و شبکه زرینه‌رود در آذربایجان غربی، به موارد مختلفی اشاره کرده‌اند از جمله تورم‌پذیری، واگرایی خاک بستر کانال و یخ‌زدگی پوشش در فصول سرد. رحیمی و عباسی (Rahimi & Abbasi, 2008) در بررسی علل خراب شدن پوشش بتنی کانال اصلی آبیاری دشت ساوه گزارش داده‌اند که کانال مذکور در سال‌های اول بهره‌برداری خراب شده و چندین مرحله مرمت نیز مؤثر نبوده است و علت اصلی خرابی کانال را مسائل طراحی، کیفیت اجرا و به‌خصوص مشخصات ژئوتکنیکی بستر گزارش کرده‌اند. بررسی علل خرابی کانال انتقال آب پمپاژ ۳ شبکه آبیاری دشت مغان حاکی از وجود لایه‌های ماسه‌ای ریز با خاصیت واگرایی فیزیکی در بستر کانال و ایجاد حفره‌های بزرگ در زیر پوشش به واسطه شستشوی لایه‌های ماسه‌ای در اثر جریان آب بوده است (Rahimi et al., 2011). رحیمی و باروتکوب (Rahimi & Barootkoob, 2002) می‌گویند وجود خاک تورم‌پذیر در بستر کانال‌های کشت و صنعت نیشکر در استان خوزستان باعث به‌وجود آمدن عوارض و خراب شدن پوشش بتنی کانال به‌صورت ترک طولی سرتاسری پانل‌های بتنی یا به‌صورت بالازدگی در محل درزهای اتصال شده است. یکی از موضوعات اصلی و اساسی در برابر خاک‌های مشکل‌آفرین، شناخت دقیق ماهیت و نوع این خاک‌ها و در نظر گرفتن تمهیدات مناسب برای کنترل آنهاست. در چند دهه اخیر، تحقیقات پراکنده‌ای برای شناسایی خاک‌های مشکل‌آفرین و مکانیزم‌های کنترل انحلال آنها و نیز اقدامات علاج بخشی در برخورد با این نوع خاک‌ها صورت گرفته است. استفاده از مواد سنتی مانند سیمان و آهک و نیز مواد پلیمری، شیمیایی، و نانویی از جمله راهکارهای

فرهنگی، شرایط ژئوتکنیکی بستر، و وجود خاک‌های مشکل‌آفرین در بستر این گونه سازه‌ها. خاک مشکل‌آفرین در اصطلاح مهندسی به خاکی اطلاق می‌شود که در اثر تماس با آب دچار تغییر ماهیت و رفتار می‌شود و مشکلاتی را برای سازه‌های روی آنها به‌وجود می‌آورد. خاک‌های آلی، تورم‌پذیر، واگرا، روانگرا، رمنبنده، انحلال‌پذیر و ماسه‌ای ریز ناپایدار از جمله انواع این خاک‌ها هستند (Rahimi & Abbasi, 2015). نتایج مطالعات و تحقیقات در خصوص ارزیابی وضعیت عملکرد و بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی نشان داده‌اند که وجود خاک‌های مشکل‌آفرین در بستر شبکه‌های آبیاری و زهکشی از مهمترین عوامل خرابی و ناکارآمدی پوشش بتنی کانال‌های آبیاری است (Abbasi et al., 2015).

بهراملو (Bahramloo, 2007) در بررسی مشکلات فنی کانال‌های آبیاری دشت همدان- بهار، دو پدیده ترک‌خوردگی و خرابی شدید پوشش بتنی را از مشکلات اساسی این کانال‌ها می‌داند و عامل اصلی خراب شدن پوشش بتنی در کانال‌های آبیاری همدان را مقاومت فشاری پایین در اثر ویبره نکردن، کرمو بودن، عمل‌آوری نامناسب، نفوذپذیری زیاد بتن و ذوب و یخبندان‌های مکرر گزارش کرده است. الرفاهی (El-Refahi, 1976) مشکل اساسی اراضی حوضه رودخانه فرات را در سوریه که منجر به خراب شدن کانال‌های آبیاری احداث شده گردید، وجود مقادیری قابل توجه گچ در خاک، خراب شدن ساختمان و نشست خاک بر اثر شستشوی گچ ارزیابی کرد.

بررسی عوارض و علل خراب شدن پوشش بتنی کانال‌های آبیاری شبکه گتوند در خوزستان در سال‌های ۱۳۵۴ تا ۱۳۶۰ نشان داد که عارضه اصلی واگرایی خاک بوده است. علل خراب شدن کانال‌های آبیاری زیردست سد مخزنی زاینده‌رود در اصفهان نیز وجود گچ در خاک بستر گفته شده است (Rahimi & Abbasi, 2015). گلابتون‌چی

بیش از پیش نمایان است. با اجرای این نوع پژوهش‌ها و شناخت مسائل موجود در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره برداری می‌توان از تکرار موارد مشابه در سایر شبکه‌ها، به ویژه در شبکه‌های در حال مطالعه و اجرا، جلوگیری کرد. این پژوهش با هدف بررسی علل خراب شدن پوشش بتنی کانال آبیاری شبکه انتقال آب دشت شبانکاره در استان بوشهر اجرا شده است.

### مواد و روش‌ها

ابتدا مشخصات عمومی و فنی شبکه اصلی دشت شبانکاره به‌عنوان مواد اصلی این پژوهش و همچنین سابقه اسناد و گزارش‌های موجود در مورد خرابی‌های آن بررسی و پس از آن برنامه پژوهش و روش‌های اجرای این تحقیق ارائه می‌شود. برنامه مطالعات در این تحقیق مشتمل بر بازدید محل به‌طور مکرر، بررسی گزارش‌های موجود، حفاری و نمونه‌برداری در مسیر کانال و در محل‌هایی که کانال خراب شده است، و اجرای آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی است.

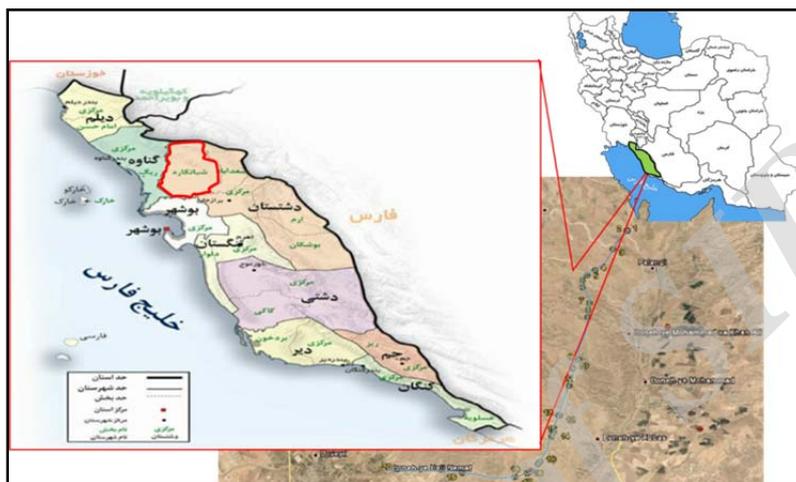
### موقعیت پروژه و سیمای شبکه

شبکه آبیاری و زهکشی شبانکاره با مساحتی بالغ بر ۱۳۰۰۰ هکتار، زیردست سد انحرافی دشت گور قرار دارد. سد انحرافی دشت گور روی رودخانه شاپور در نزدیکی روستای جره بالا و به فاصله ۱/۵ کیلومتری پایین‌دست سد مخزنی رئیس‌علی دلواری واقع در منطقه دشتستان در استان بوشهر احداث شده است. این زمین‌ها از شمال به کوه‌های کمر بلند، از شرق به رودخانه شاپور، از جنوب به روستای چاه‌دول و چهل زراعی عرب و از غرب به روستای ده خلیفه منتهی می‌شود. دستیابی به منطقه از جاده برازجان- گناوه مقدور است که از میان زمین‌ها عبور می‌کند. برای انتقال آب از محل آبیگر سد انحرافی دشت گور به زمین‌های شبانکاره و دشت گور، از شبکه‌ای از

پیشنهادی برای اصلاح و تثبیت خاک‌های مشکل‌آفرین بوده است ( Movahedan *et al.*, 2011; Movahedan *et al.*, 2012; Abbasi *et al.*, 2018; Nouroozian *et al.*, 2018). افشاریان و همکاران (Afsharian *et al.*, 2016) نشان دادند که بافت خاک، شیب هیدرولیکی، و درصد گچ از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر میزان و سرعت انحلال ذرات گچ موجود در خاک هستند و چگونگی تأثیر این عوامل را با روابط رگرسیونی مشخص کردند. عباسی و نظیفی (Abbasi & Nazifi, 2013) نیز در تحقیقات خود روی ۲۶ نمونه خاک ریزدانه، از مناطق مختلف ایران، مغایرت نتایج حاصل از آزمایش پین‌هول و نمودار شرارد را تأیید کردند و نشان دادند که نوع آنیون موجود در خاک می‌تواند اثر قابل توجهی بر واگرایی خاک داشته باشد، در حالی که این امر در نمودار مذکور لحاظ نشده است. آنها بر همین اساس استفاده از پارامتر "درصد اختلاف بین یون‌های سدیم و کلر" را به جای "درصد سدیم" در محور قائم نمودار شرارد پیشنهاد کردند. بهراملو ( Bahramloo, 2012) در بررسی اثربخشی پوشش بتنی کانال‌های آبیاری در شرایط موجود نتیجه گرفت که با روش اجرایی و تکنولوژی موجود، کاربرد پوشش بتنی تأثیر معنی‌داری در کنترل تلفات نشت آب ندارد.

بدین ترتیب مشاهده می‌گردد در اغلب موارد وجود خاک‌های مشکل‌آفرین در بستر پروژه‌های عمرانی به‌ویژه سازه‌های آبی، مشکلاتی را برای این گونه سازه‌ها به وجود آورده است. در برخی موارد، بی‌توجهی به اصل خاک‌های مشکل‌آفرین علت ایجاد مشکل بوده است، در موارد دیگر نیز شناسایی نشدن دقیق رفتار آنها باعث ایجاد مشکلات اجرایی در حین ساخت و بهره‌برداری از این سازه‌ها بوده است. از این‌رو، با توجه به رشد روزافزون احداث پروژه‌های مختلف عمرانی در مناطق مختلف کشور، لزوم روی آوردن به پژوهش‌های کاربردی و بنیادی در خصوص بررسی علل ناکارمندی شبکه‌های در حال بهره‌برداری و خرابی آنها،

کانال‌های آبیاری استفاده شده است. کانال مورد بررسی در این تحقیق که دچار مشکل شده‌است، بخش چهارم شبکه انتقال آب دشت شبانکاره و کانالی است دوزنقه‌ای به طول ۱۴/۷ کیلومتر با دبی طراحی ۱۳ متر مکعب در ثانیه، عرض کف ۳ متر، و ارتفاع ۲/۱۵ متر با پوشش بتنی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر و با شیب جانبی ۱:۱/۵؛ در شکل ۱، موقعیت شبکه آبیاری شبانکاره نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت شبکه آبیاری شبانکاره

شکستگی کامل آنها شده است. در این نقاط حتی جاده سرویس و شیب جانبی کانال نیز دچار لغزش شده‌اند. برخی از این عوارض و شواهد در شکل ۲ ارائه شده است. در این بازدیدها برای ارزیابی دقیق‌تر مسئله حفر ۲۰ حلقه چال شناسایی (Test pit)، هر یک به عمق حداکثر ۵ متر در طول مسیر و اطراف کانال، به‌ویژه در مناطق خسارت دیده، و نمونه‌برداری از هر عمق با اجرای آزمایش دانسیته صحرائی مد نظر قرار گرفت. همچنین مقرر گردید آزمایش‌های شناسایی فیزیکی و شیمیایی به‌ویژه تعیین میزان سولفات کلسیم آبدار (گچ) و آزمایش‌های ارزیابی واگرایی دنبال شوند.

### بررسی‌های صحرائی

برای بررسی چگونگی بروز خسارت و تدوین مراحل بعدی پژوهش، در چند مرحله از محل پروژه بازدید شد. در این بازدیدها چگونگی و ماهیت عوارض حادث شده، وضعیت زمین‌شناسی منطقه، و طبیعت خاک بستر کانال مشاهده شد و مورد بررسی عینی قرار گرفت و برنامه نمونه‌برداری مشخص گردید.

بر اساس این بازدیدها، مشخص شد که ماهیت و مکانیزم شکست و خرابی کانال در تمام نقاط یکسان است، به‌طوری‌که در همه موارد نشست خاک بستر و خالی شدن پشت یا زیر پوشش کانال موجب از دست رفتن تکیه‌گاه، جابه‌جایی قطعات بتنی، ترک‌خوردگی و سرانجام



شکل ۲- لایه‌بندی خاک منطقه و خرابی‌ها در پوشش کانال

### بررسی گزارش‌ها و اسناد موجود

کانال در نقاط مختلف بوده است. مهمترین نکته ارائه شده در این گزارش، ذکر شواهدی است دال بر وجود لایه‌ها و لیزهای گچی و توده‌های بلورین متخلخل و سفید در مسیر کانال. ولی در این گزارش هیچ اشاره‌ای به امکان انحلال این توده‌ها و خالی شدن بستر نشده و تنها به احتمال خوردگی پوشش بتنی به واسطه حضور ذرات گچی توجه گردیده است؛ در این راستا نیز توصیه‌هایی به منظور جلوگیری از خوردگی پوشش ارائه گردیده است.

### حفاری و نمونه‌برداری

۲۰ چال شناسایی هم در مسیر کانال و هم در مجاورت آن و به فاصله ۲۰ تا ۵۰ متری از محور کانال حفر شدند و از عمق‌های مختلف، با توجه به تغییر لایه‌ها، نمونه‌هایی برداشته شد. علاوه بر این، از خاک بستر کانال

بر اساس گزارش‌های موجود، پس از تکمیل شدن سد و بهره‌برداری از کانال‌های شبکه در سال ۱۳۹۱، در همان سال اول بهره‌برداری از کانال، بروز عوارض و ترک‌های ریز در پانل‌های بتنی جداره در بخش‌هایی از کانال و در امتداد طولی کانال مشاهده شده است. بر اساس اظهارات کارشناسان و ناظران محلی در ابتدای امر، این ترک‌ها به دمای زیاد محیط و بتن پوشش و تغییرات دمایی سریع آن در اثر تماس با آب نسبت داده شد و ترمیم آنها نیز به صورت پر کردن درز و ترک‌های پوشش با دوغاب و ملات سیمان بوده است. هم‌زمان با پیشرفت بهره‌برداری و جدی‌تر شدن ترک‌های طولی، گزارش‌ها حاکی از کارساز نبودن این نوع ترمیم‌ها، ایجاد خرابی، و جابه‌جایی و شکستگی پوشش بتنی کف و جداره در اثر نشست بستر

خاک‌های رسی (واگرایی شیمیایی)، ماسه ریز و سیلت درشت غیر چسبنده (واگرایی فیزیکی) در اثر تماس با آب چسبندگی خود از دست می‌دهند و با کمترین نیروی نشت آب از محیط خارج می‌شوند. این امر باعث ایجاد فرسایش درونی در خاک می‌شود و به خراب شدن سازه‌های مجاور می‌انجامد.

با توجه به نتایج آزمایش‌های شناسایی، احتمال واگرایی شیمیایی به واسطه وجود ذرات رس در خاک، تقریباً منتفی بود و این احتمال وجود داشت که خاک‌های ماسه‌ای ریز و سیلت درشت دارای پتانسیل واگرایی فیزیکی باشند. با این همه، برای حصول اطمینان بیشتر آزمایش پین‌هول نیز روی کلیه نمونه‌های مورد آزمایش اجرا شد. آزمایش پین‌هول را شرارد در سال ۱۹۷۷ ابداع کرد؛ این آزمایش، پتانسیل واگرایی با منشأ شیمیایی یا فیزیکی را با ایجاد یک سوراخ به قطر یک میلی‌متر در خاک و جریان دادن آب تحت بارهای هیدرولیکی مختلف از آن ارزیابی می‌کند. شدت واگرایی در این آزمایش بر اساس قطر نهایی سوراخ، رنگ آب خروجی، و دبی آب خروجی تحت بارهای هیدرولیکی مختلف سنجیده می‌شود. این آزمایش مطابق استاندارد روی نمونه‌های ریزدانه و ماسه ای اجرا شد (Anon, 2000). لازم است یادآوری شود که ایده اولیه آزمایش پین‌هول برای خاک‌های رسی و ارزیابی پتانسیل واگرایی شیمیایی بوده است ولی از این آزمایش با اصلاحاتی جزئی در بخش ورودی آب نمونه برای ارزیابی پتانسیل واگرایی فیزیکی نیز استفاده شده است (Rahimi et al., 2004). مراحل مختلف اجرای آزمایش پین‌هول در شکل ۳ نشان داده شده است.

در محل خاکریزها نیز نمونه‌برداری شد. بدین ترتیب از هر یک از چاهک‌ها، بسته به ضخامت لایه‌های مختلف ۱ تا ۵ سری نمونه از عمق‌های مختلف (۶۰ نمونه) و از ۱۳ نقطه از محل خاکریزها نیز یک نمونه و در مجموع ۷۳ نمونه خاک تهیه شد؛ نمونه‌ها برای تعیین مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی مورد نیاز به آزمایشگاه انتقال داده شدند. موقعیت چال‌های شناسایی حفاری شده در طول مسیر و مجاورت کانال و محل‌های نمونه‌برداری در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش‌های شناسایی روی این نمونه‌ها شامل دانه‌بندی، حدود اتربرگ، طبقه‌بندی، تعیین اسیدیته، هدایت الکتریکی، آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و مقدار گچ بوده است.

#### آزمایش‌های آزمایشگاهی

آزمایش‌های آزمایشگاهی مشتمل‌اند بر دو گروه آزمایش‌های شناسایی فیزیکی و آزمایش‌های شیمیایی که با توجه به رفتار خاک بستر در زیر پوشش بتنی کانال انتخاب و اجرا گردیده‌اند. به‌منظور ارزیابی و تعیین مشخصات خاک زیر بستر کانال و نقاط مجاور، آزمایش‌های شناسایی فیزیکی شامل تعیین رطوبت، دانه‌بندی، حدود اتربرگ، طبقه‌بندی و آزمایش‌های تعیین مشخصات شیمیایی شامل تعیین مقدار گچ، یون سولفات، TDS، مقادیر کاتیون‌های اصلی و هدایت الکتریکی روی نمونه‌های اخذ شده بر اساس استانداردهای معتبر و عمدتاً ASTM در نظر گرفته شدند. علاوه بر آزمایش‌های شناسایی، آزمایش‌های تعیین میزان واگرایی برای ارزیابی پتانسیل واگرایی نمونه‌ها نیز اجرا شد. واگرایی ممکن است ماهیت شیمیایی یا فیزیکی داشته باشد که طی آن ذرات

جدول ۱- موقعیت مکانی حفاری‌ها و نمونه‌برداری‌ها در مسیر کانال

ردیف	فاصله از ابتدای کانال (کیلومتر)	شماره گمانه	مختصات (UTM)		عمق نمونه‌برداری (متر)	تعداد نمونه
			عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی		
۱	۶+۵۰۰	TP1	۳۲۶۹۴۰۶	۵۱۱۸۲۵	۰-۴	۴
۲	۶+۵۰۰	TP2	۳۲۶۹۴۲۲	۵۱۱۷۸۷	۰-۴	۴
۳	۷+۵۰۰	TP3	۳۲۶۶۲۲۳	۵۱۱۶۲۵	۰-۵	۵
۴	۸+۷۰۰	TP4	۳۲۶۷۳۳۰	۵۱۱۲۳۷	۰-۳	۲
۵	۹+۱۰۰	TP5	۳۲۶۷۳۳۰	۵۱۱۲۳۷	۰-۸	۳
۶	۹+۷۰۰	TP6	۳۲۶۶۳۹۰	۵۱۱۱۴۷	۰-۴	۲
۷	۱۰+۵۰۰	TP7	۳۲۶۶۰۹۲	۵۱۱۵۴۵	۰-۶	۱
۸	۱۱+۱۰۰	TP8	۳۲۶۵۶۲۰	۵۱۱۶۶۱	۰-۳/۵	۱
۹	۱۳+۰۰	TP9	۳۲۶۳۶۲۰	۵۱۲۰۰۹	۰-۳	۲
۱۰	۱۳+۴۹۵	TP10	۳۲۶۳۰۶۸	۵۱۲۰۲۰	۰-۶	۳
۱۱	۱۴+۳۰۰	TP11	۳۲۶۲۵۷۱	۵۱۲۱۸۵	۰-۳	۳
۱۲	۱۶+۱۰۰	TP12	۳۲۶۱۱۴۳	۵۱۲۲۸۳	۰-۲	۲
۱۳	۱۶+۱۰۰	TP13	۳۲۶۰۹۸۹	۵۱۲۲۵۳	۰-۲	۲
۱۴	۱۶+۳۰۰	TP14	۳۲۶۰۵۶۸	۵۱۲۳۰۶	۰-۶	۳
۱۵	۱۶+۵۰۰	TP15	۳۲۶۰۰۹۷	۵۱۲۳۳۵	۰-۳	۳
۱۶	۱۷+۷۵۰	TP16	۳۲۵۹۳۷۴	۵۱۲۳۸۷	۰-۴ (خاکریز)	۳
۱۷	۱۸+۳۰۰	TP17	۳۲۵۸۳۴۲	۵۱۲۲۵۶	۰-۶ (خاکریز)	۴
۱۸	۱۸+۳۰۰	TP18	۳۲۵۹۳۷۴	۵۱۲۳۸۷	۰-۴	۶
۱۹	۲۰+۸۰۰	TP19	۳۲۵۸۲۱۶	۵۰۹۲۹۳	۰-۴	۲
۲۰	۲۳+۴۰۰	TP20	۳۲۵۶۶۷۶	۵۰۷۴۶۲	۰-۴ (خاکریز)	۵
۲۱	۲۳+۰۰۰	F1	۳۲۵۶۹۵۵	۵۰۷۷۷۷		۱
۲۲	۲۱+۹۴۹	F2	۳۲۵۷۳۹۲	۵۰۹۴۲۶		۱
۲۳	۲۰+۱۳۴	F3	۳۲۵۷۶۹۹	۵۱۰۷۳۴		۱
۲۴	۱۹+۰۰۰	F4	۳۲۵۸۱۱۶	۵۱۱۷۷۱		۱
۲۵	۱۵+۵۲۴	F5	۳۲۶۰۷۲۴	۵۱۲۳۰۵		۱
۲۶	۱۳+۴۴۲	F6	۳۲۶۳۰۸۶	۵۱۲۰۰۸		۱
۲۷	۱۰+۸۰۸	F7	۳۲۶۵۶۰۳	۵۱۱۶۷۰		۱
۲۸	۰۹+۷۵۲	F8	۳۲۶۶۵۴۴	۵۱۱۰۰۹		۱
۲۹	۰۷+۶۳۳	F9	۳۲۶۸۰۸۸	۵۱۱۵۵۰		۱
۳۰	۰۶+۱۰۰	F10	۳۲۶۹۶۳۹	۵۱۱۸۳۳		۱
۳۱	۱۷+۷۵۰	F11	۳۲۵۹۳۷۴	۵۱۲۳۸۶		۱
۳۲	۱۸+۳۰۰	F12	۳۲۵۸۳۴۲	۵۱۲۰۴۱		۱
۳۳	۲۳+۴۰۰	F13	۳۲۵۶۶۷۶	۵۰۷۴۶۲		۱

نمونه برداری از سیستم کانال در محل خاکریزی



ب) وضعیت نمونه آزمایشی بین هول

الف) دستگاه مورد استفاده در این آزمایش

شکل ۳- مراحل مختلف اجرای آزمایش بین هول

## نتایج و بحث

پیشتر اشاره شد که علل خراب شدن پوشش بتنی کانال انتقال آب بر اساس مجموعه بررسی‌های صحرائی، بررسی اسناد موجود، و نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی ارزیابی شده است. در اینجا نتایج حاصل از هر یک از این ارزیابی‌ها به تفکیک ارائه و با تلفیق و تحلیل آنها نتیجه‌گیری شده است.

### نتایج بررسی‌های صحرائی

بر اساس مجموعه نتایج حاصل از بررسی‌های عینی و بازدیدها از نقاط مختلف شبکه، مشخص گردید که خاک منطقه عمدتاً متشکل از رسوبات با لایه‌بندی نامنظم و متشکل از لایه‌های مختلف شامل: کنگلومرا، ماسه یکنواخت و تمیز و رگه‌های رسی و سیلتی است. بررسی عینی وضعیت بتن پوشش کانال از نظر دانه‌بندی، ضخامت لایه آستر و پوشش اصلی نشان می‌دهد وضعیت ظاهری و کیفیت بتن مناسب بوده و بدین ترتیب ترک‌خوردگی و خراب شدن پوشش در طول مسیر ارتباطی به کیفیت بتن

نداشته و نشست بستر موجب ترک‌خوردگی گردیده است. یکی از مهمترین موارد قابل توجه در بازدیدهای صحرائی، وجود شواهدی است که بر انحلال‌پذیری لایه‌های خاک در منطقه دلالت دارد. وجود حفره‌های ریز در سطح خاک مسیر سیلاب به صورت سوراخ‌های با ابعاد مختلف در سطح خاک می‌تواند بیانگر وجود ذرات انحلال‌پذیر در بین ذرات خاک باشد. همچنین، وجود حفره‌های طبیعی بسیار بزرگ و عمیق در اطراف کانال حاکی از انحلال‌پذیری خاک مسیر کانال است. وجود ذرات بلورین و توده‌ای سفید در نقاط مختلف مسیر و به ویژه خاک‌های خارج از گودبرداری‌ها احتمال گچی بودن لایه‌های زیرین را تقویت می‌کند (شکل ۴). به‌واسطه وجود لایه‌های ماسه‌ای یکنواخت و ریز در لایه زیرین کف کانال و نشست آب از میان درزهای کانال و جریان آب در مسیر کانال، وقوع واگرایی فیزیکی را محتمل می‌سازد. جریان شدید آب از اطراف کانال در ۱۰۰+۱۶ کیلومتر و ماسه‌ای بودن خاک در این نقطه، نمونه‌ای از مصادیق بارز این موضوع است. در مجموع، با عنایت به موارد یاد شده و بر اساس شواهد

قرارگرفتن پوشش بتنی روی بستر با خاک مشکل‌آفرین و به‌کارنگرفتن تمهیدات لازم در این خصوص بوده است.

حاصل از بازدیدهای میدانی، مشکل‌آفرین بودن خاک بستر محرز تشخیص داده شد. بدین معنی که خرابی‌ها به‌واسطه

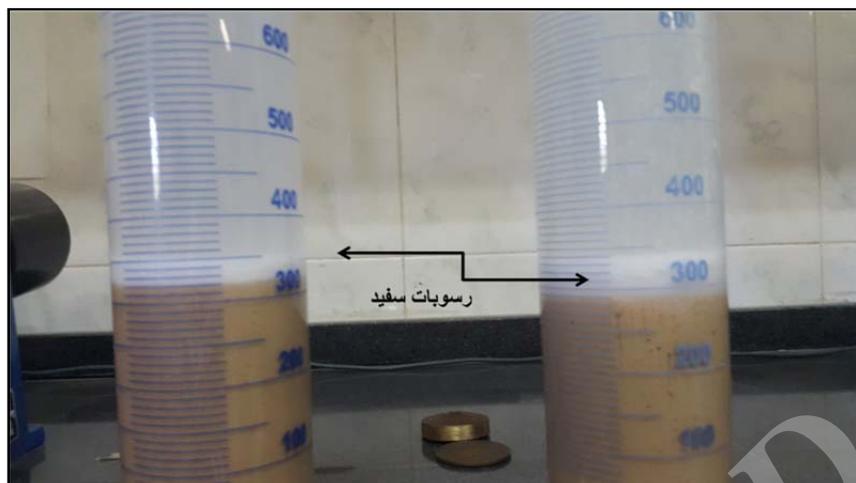


شکل ۴- توده‌های بلورین گچی در خاک خارج شده از بستر کانال در کیلومتر ۴۰+۲۴

لابه‌لای توده‌های بزرگ کنگلومرایی پراکنده‌اند. بدین ترتیب با توجه به ماهیت درشت‌دانه بودن و کنگلومرایی بخش اعظم خاک مسیر و ضخامت کم لایه‌های ریزدانه رسی خاک، این طور نتیجه‌گیری شد که بستر طبیعی کانال از نظر دانه‌بندی و خواص خمیرایی خاک مستعد نشست تحکیمی بعد از آب‌اندازی نیست. به‌عبارت دیگر، با توجه به ماهیت سازه (جسم کانال) و دانه‌بندی خاک منطقه، وقوع نشست‌های چند ده سانتی‌متری قابل تصور نیست و دلیل نشست‌های رخ داده باید مواردی غیر از ویژگی‌های فیزیکی باشد. این فرضیه در حین آزمایش هیدرومتری با تشکیل لایه کاملاً مشخص از مواد انحلال پذیر روی ذرات خاک رسی به‌وضوح نمایان و تقویت گردید (شکل ۵).

#### نتایج آزمایش‌های شناسایی فیزیکی

نتایج آزمایش‌های شناسایی فیزیکی، شامل دانه‌بندی با الک و هیدرومتر و نیز تعیین حدود آتربرگ نشان داد در اغلب موارد بافت خاک درشت‌دانه و از نوع شن سیلتی (GM، GP-GM)، شن تمیز بد دانه‌بندی شده (GP) و ماسه‌ای با طبقه‌بندی‌های SM، SP-SM است. در برخی موارد نیز لایه‌های تشکیل‌دهنده مسیر کانال از نوع ریزدانه رسی با خمیرایی کم (CL) و سیلت با خمیرایی کم (ML) است. همچنین، بافت عمومی بستر اغلب متشکل از لایه‌های درشت‌دانه شنی حاوی ذرات بسیار درشت قلوه سنگ با دانسیته نسبتاً زیاد و به‌صورت توده‌های کنگلومرایی است و لایه‌های ماسه‌ای و لایه‌های ریزدانه رسی اغلب به‌صورت رگه و لنزهای با ضخامت بسیار کم در



شکل ۵- ته‌نشینی ذرات سفید روی خاک در آزمایش هیدرومتری

موجود در خاک باشد که این موضوع برای ذرات گچ بیشتر مصداق دارد.

#### نتایج آزمایش تعیین میزان گچ

آنالیز شیمیایی روی نمونه‌ها و به‌ویژه پایین بودن مقدار EC نمونه‌هایی که املاح آنها به‌صورت توده‌های بلورین و با چشم غیر مسلح قابل رویت بوده است، نشان داد جنس املاح از کلرید سدیم نیست. با آزمایش ساده واکنش این توده‌های بلورین با اسید کلریدریک رقیق در محل و در حین بازدید از محل پروژه و نیز با حفاری و نمونه‌برداری مشخص گردید که مواد انحلال‌پذیر آهکی نیستند و به احتمال قریب به یقین گچی هستند. این موضوع در آزمایشگاه و با آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی تأیید شد. با این حال برای قطعی شدن موضوع، آزمایش تعیین مستقیم گچ مد نظر قرار گرفت. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها نشان داد که اغلب نمونه‌های مورد بررسی حاوی مقادیر قابل توجهی سولفات کلسیم یا گچ هستند. در بررسی‌های آزمایشگاهی، میزان گچ موجود در نمونه‌ها از حدود یک تا نزدیک به ۷۰ درصد گزارش شده است. نتایج آزمایش‌های تعیین گچ به روش استاندارد استون در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

نتایج آزمایش دانه‌بندی و طبقه‌بندی روی نمونه‌های برداشت شده از مقاطع خاکریزی کانال نشان داد اغلب آنها از نوع GM یعنی شن سیلتی هستند و مقدار ریزدانه آنها به جز ۴ نمونه کمتر از ۲۵ درصد و حتی در سه نمونه کمتر از ۱۰ درصد است. این نوع دانه‌بندی مناسب به نظر نمی‌رسد زیرا نمی‌تواند نیازهای چسبندگی بین ذرات و کنترل نفوذپذیری را تأمین کند.

#### نتایج آزمایش‌های شناسایی شیمیایی

بر اساس آزمایش‌های شیمیایی روی عصاره اشباع نمونه‌ها مشخص گردید میزان شوری (EC) اغلب آنها از حدود ۳ تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر متغیر و حاوی مقادیر قابل توجهی نیز از انواع آنیون‌ها (سولفات، کلراید، بی‌کربنات) و کاتیون‌های مختلف (سدیم، کلسیم و منیزیم) است. بدین ترتیب نامتعارف و شور بودن نمونه‌ها که به واسطه وجود املاح در آنهاست، اثبات گردید. این موضوع موید فرضیه‌های حاصل از مشاهدات عینی و موارد مشاهده شده در آزمون‌های فیزیکی مبنی بر وجود املاح در خاک است. مقادیر نسبتاً کم هدایت الکتریکی (EC) با توجه به قابل مشاهده بودن املاح با چشم غیر مسلح در نمونه می‌تواند مبین پایین بودن قابلیت انحلال املاح

جدول ۲- نتایج آزمایش‌های تعیین گچ

ردیف	فاصله از ابتدای کانال (کیلومتر)	شماره نمونه	درصد گچ	ردیف	فاصله از ابتدای کانال (کیلومتر)	شماره نمونه	درصد گچ
۱	۶+۵۰۰	۱-۲	۱/۸	۱۵	۲۳+۰۰۰	F1	۵/۲
۲	۶+۵۰۰	۲-۳	۲/۵	۱۶	۲۱+۹۴۹	F2	۱۰/۹
۳	۷+۵۰۰	۳-۲	۲/۱	۱۷	۲۰+۱۳۴	F3	۰/۷
۴	۹+۷۰۰	۶-۲	۷	۱۸	۱۹+۰۰۰	F4	۲۲/۵
۵	۱۴+۳۰۰	۱۱-۲	۸/۴	۱۹	۱۵+۵۲۴	F5	۵/۱
۶	۱۶+۱۰۰	۱۳-۱	۴۶/۵	۲۰	۱۳+۴۴۲	F6	۶
۷	۱۶+۳۰۰	۱۴-۳	-	۲۱	۱۰+۸۰۸	F7	۲۱/۸
۸	۱۸+۳۰۰	۱۷-۱	۵/۶	۲۲	۰۹+۷۵۲	F8	۶/۸
۹	۱۸+۸۰۰	۱۸-۱	۵۸	۲۳	۰۷+۶۳۳	F9	۱/۵
۱۰	۱۸+۸۰۰	۱۸-۲	۴۹	۲۴	۰۶+۱۰۰	F10	۳/۱
۱۱	۱۸+۸۰۰	۱۸-۵	۲۲	۲۵	۱۷+۷۵۰	F11	۱۴
۱۲	۲۰+۸۰۰	۱۹-۱	۵/۲	۲۶	۱۸+۳۰۰	F12	۱۱/۴
۱۳	۲۳+۴۰۰	۲۰-۳	۶۸	۲۷	۲۳+۴۰۰	F13	۲۳
۱۴	۲۳+۴۰۰	۲۰-۵	۶۱				

ابتدایی مقطع مورد بررسی و بیشترین مقدار گچ در نقاط انتهایی آن یعنی حدود کیلومتر ۲۰ تا ۲۴ مشاهده شده است. بدین ترتیب، وجود گچ در بستر طبیعی کانال و نشت آب از درزها و نیز از رواناب‌های سطحی به زیر پوشش بتنی عامل انحلال گچ، خالی شدن زیر پوشش، و ترک خوردگی و شکست پوشش بتنی بوده است. یادآوری می‌شود که نفوذپذیری زیاد مصالح، که اغلب درشت‌دانه هستند، باعث وقوع جریان با شدت بیشتر و تسریع در انحلال گردیده است.

#### نتایج آزمایش تعیین پتانسیل واگرایی

نتایج به دست آمده از آزمایش پین هول روی نمونه‌های ماسه و ماسه سیلتی نشان داد برخی از نمونه‌های ماسه دارای پتانسیل واگرایی متوسط تا شدید هستند. نمونه‌ای از نتایج این آزمایش در شکل ۶ و وضعیت چند مورد از نمونه‌ها پس از آزمایش در شکل ۷ نشان داده شده است.

به علت غلظت زیاد گچ در برخی از نمونه‌ها، آزمایش‌های استاندارد آزمایشگاهی همراه با خطا بود و بعضاً نیز میسر نبود. در برخی نمونه‌ها، با چشم غیر مسلح به نظر می‌رسید مقدار توده‌های بلورین گچ خیلی بیشتر از ذرات خاک است. به عبارت دیگر، بخش عمده نمونه‌ها سنگ گچ بوده‌اند.

بدین ترتیب، با استناد به شواهد حاصل از بازدیدهای محلی، آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی، آزمایش تعیین مستقیم گچ به روش استون و آزمایش ابتکاری تهیه ملات گچ که نتایج همه آنها در مطابقت و تأیید یکدیگر بوده‌اند، وجود گچ در خاک مسیر کانال به مقدار زیاد و با قاطعیت به اثبات رسید. پراکنش تقریبی مقدار گچ در خاک مسیر کانال نیز به این صورت است که در نقطه‌ای مشخص، با افزایش عمق خاک مقدار گچ افزایش می‌یابد. در مسیر طولی کانال نیز مقدار گچ از بالادست به سمت پایین دست افزایش می‌یابد، به طوری که کمترین مقدار گچ در نقاط



شکل ۶- مراحل مختلف آزمایش بین‌هول



شکل ۷- وضعیت نمونه‌های آزمایشی پس از آزمایش بین‌هول

تمهیدات لازم برای کنترل خطر گچ، از جمله آب‌بندی کانال و جلوگیری از ورود آب به پشت پوشش، خطر واگرایی نیز کنترل خواهد شد.

بررسی مشخصات شیمیایی و میزان گچ در نمونه حاصل خاکریز کانال در مقاطع خاکریزی نیز نشان می‌دهد که این مصالح نیز از نظر شیمیایی نامتعارف (شور و حاوی املاح) و به‌میزان قابل توجهی حاوی ذرات گچ هستند. از این‌رو به‌نظر می‌رسد در انتخاب معدن قرضه برای خاکریزی دقت نشده از همان خاک طبیعی گچ‌دار محل به‌عنوان منبع قرضه استفاده شده است. این موضوع مشکل موجود را حادث‌تر نیز کرده است، به این معنی که در

بدین ترتیب دیده می‌شود پتانسیل واگرایی فیزیکی در برخی از نمونه‌های خاک منطقه وجود دارد که با فراهم شدن شرایط، یعنی نشست آب از درون این لایه‌ها و وجود شیب هیدرولیکی کافی، ذرات ماسه و سیلت همراه جریان آب به‌صورت آب‌بستگی داخلی از محیط خارج می‌شوند و در اثر خالی شدن بستر، خرابی و شکستگی پوشش بتنی پدید می‌آید. ولی این نوع خاک‌ها از آنجا که به‌صورت رگه‌های با ضخامت کم در نقاط مختلف بدون الگویی خاص پراکنده‌اند، در مقایسه با مشکل وجود گچ در خاک، اهمیت کمتری دارند و عامل اصلی خرابی‌ها محسوب نمی‌شوند، گرچه تهدیدی بالقوه هستند. با به‌کارگیری

سولفات کلسیم یا گچ هستند. میزان گچ موجود در نمونه از حدود یک تا نزدیک به ۷۰ درصد در بررسی‌های آزمایشگاهی تعیین شده است. بررسی مشخصات فیزیکی، شیمیایی، و میزان گچ در نمونه‌های اخذ شده از مصالح خاکریزی در مناطقی که مقطع کانال در خاکریزی است، نیز نشان می‌دهد که در مصالح خاکریزی گچ به میزان قابل توجهی وجود دارد. نتایج آزمایش‌های تعیین واگرایی با روش پین‌هول نشان داده است پتانسیل واگرایی فیزیکی در برخی از نمونه‌های خاک منطقه وجود دارد که با فراهم شدن شرایط، یعنی نشت آب از درون این لایه‌ها و وجود شیب هیدرولیکی کافی، ذرات ماسه و سیلت همراه جریان آب به صورت آبشستگی داخلی از محیط خارج می‌شوند و با خالی شدن بستر، خرابی و شکستگی پوشش بتنی پدید می‌آید. ولی این نوع خاک‌ها به صورت رگه‌های با ضخامت کم در نقاط مختلف بدون الگویی خاص پراکنده‌اند که در مقایسه با مشکل وجود گچ در خاک اهمیت کمتری دارند و عامل اصلی خرابی‌ها محسوب نمی‌شوند، گرچه این مشکل تهدیدی بالقوه نیز هست.

با توجه به مجموعه نتایج حاصل از بررسی‌های محلی و آزمایشگاهی، علت اصلی بروز مشکلات و خسارت‌های ایجاد شده در پوشش کانال اصلی شبانکاره، وجود لایه‌های گچی در بستر طبیعی، به ویژه در مقاطع خاکبرداری‌ها، و استفاده از خاک گچی به عنوان مصالح خاکریزی در مقاطع خاکریزی شده، و انحلال این مواد در اثر ورود آب از درزهای کانال و رواناب سطحی به پشت پوشش بتنی بوده است. بدین ترتیب عوامل ژئوتکنیکی، یعنی وجود توده‌های گچی به عنوان عوامل اصلی خرابی‌ها و مسائل اجرایی به خاطر فراهم شدن شرایط انحلال به عنوان عامل کمکی تخریب‌های حادث شده در کانال انتقال آب شبانکاره مورد تأیید قرار گرفت.

مناطق ابتدایی و بالادست کانال که خاک طبیعی آنها گچ کمتری دارد برای خاکریزی از خاک درشت‌دانه و با میزان گچ بیشتر از پایین‌دست کانال انتقال یافته است. این موضوع در مراحل مختلف مطالعاتی و ساخت کانال مورد توجه قرار نگرفته است.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با بازدیدهای صحرائی، حفر ۲۰ حلقه چال شناسایی، نمونه‌برداری در ۱۳ نقطه از محل‌های خاکریزی، و نمونه‌برداری و اجرای آزمایش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی روی نمونه‌ها، علل خراب شدن پوشش بتنی بخش چهارم کانال شبانکاره بررسی شده است. بر اساس مجموعه نتایج به دست آمده، عوارض ایجاد شده و عوامل ایجاد خسارات در قالب دو گروه اصلی ارزیابی گردید، یکی عوامل مرتبط با مسائل اجرایی و دیگری عوامل مرتبط با خصوصیات ژئوتکنیکی لایه‌های زیرین مسیر کانال.

خسارت‌های ایجاد شده در پوشش کانال، تغییر شکل‌های حادث شده، و وجود حفره‌های بسیار بزرگ در پشت پوشش بتنی تماماً بیانگر خراب شدن پوشش در اثر از بین رفتن بستر یا تکیه‌گاه پوشش بتنی کانال است. این موضوع، غیر عادی بودن و یا مشکل آفرین بودن خاک بستر کانال را به اثبات می‌رساند که با توجه به بررسی‌ها، دو علت قابل طرح است: ۱- شستشوی بخشی از ذرات جامد خاک بستر کانال در اثر وجود مواد انحلال‌پذیر و ۲- فرسایش و مهاجرت ذرات خاک بر اثر واگرایی فیزیکی یا شیمیایی خاک.

با آزمایش‌های مختلف فیزیکی و تعیین مشخصات شیمیایی و مقدار گچ خاک، مشخص گردید که اغلب نمونه‌های خاک مورد بررسی حاوی مقادیر قابل توجهی

## مراجع

- Abbasi, N. 2011. The role of anions in dispersion potential of clayey soil. *J. Agric. Eng. Res.* 12(3): 15-30. (in Persian)
- Abbasi, N. and Rahimi, H. 2006. Evaluation of operational and maintenance problems of modern irrigation networks (a case study for Ghazvin project). *International Symposium on Water and Land Management*. April 4-8. Cukurova University, Adana, Turkey.
- Abbasi, N. and Nazifi, M. H. 2013. Assessment and modification of Sherard chemical method for evaluation of dispersion potential of soils. *J. Geotech. Geologic. Eng.* 31(1): 337-346.
- Abbasi, N., Bahramloo, R. and Movahedan, M. 2015. Strategic planning for remediation and optimization of irrigation and drainage networks: a case study for Iran. *Agriculture and Agricultural Sci. Procedia*, Elsevier. 4, 211-221.
- Abbasi, N., Farjad, A. and Sepehri, S. 2018. The use of nanoclay particles for stabilization of dispersive clayey soils. *J. Geotech. Geol. Eng.* 36(1): 327-335. doi.org/10.1007/s10706-017-0330-9.
- Afsharian, A. A., Abbasi, N., Khosrowjerdi, A. and Sedghi, H. 2016. analytical and laboratory evaluation of the solubility of gypsiferous soils. *Civil Eng. J.* 2(11): 590-599.
- Anon. 2000. *Annual Book of ASTM Standards (ASTM)*. Vol. 04.08. Soil and Rock, D420-D5779.
- Bahramloo, R. 2007. Study on the failure factors in concrete lining of canals in Hamadan- Bahar plain. *Irrigation and Drainage Structures Eng. Res.* 8(3): 81-92.
- Bahramloo, R. 2012. Effectiveness of concrete linings of irrigation canals in control of seepage. *Iranian Water Res. J. (IWRJ)*. 6(11): 75-83.
- El-Refahi, N. 1976. *Problems of the Irrigation Networks in Gypsum Lands*. Iranian Committee on Irrigation and Drainage. Report No.16.
- Golabatoonchi, I. and Talebi, S. 2001. Destruction reasons of canal linings and some treatment approaches. *First International Conference on Concrete and Development*. May 1-2. Tehran, Iran.
- Movahedan, M., Abbasi, N. and Keramati, M. 2011. Experimental investigation of polyvinyl acetate polymer application for wind erosion control of soils. *J. Water Soil (Agric. Sci. Technol.)*. 25(2): 606-616.
- Movahedan, M., Abbasi, N. and Keramati, M. 2012. Wind erosion control of soils using polymeric materials. *Eurasian J. Soil Sci.* 1(2): 81-86.
- Nouroozian, K., Abbasi, N. and Abedi-koupaei, J. 2018. Use of sewage sludge ash and hydrated lime to improve the engineering properties of clayey soils. *J. Geotechnical and Geological Eng.* Springer, https://doi.org/10.1007/s10706-017-0411-9.
- Rahimi, H. and Baroutkoob, S. 2002. Concrete canal lining cracking in low to medium plastic soils. *J. Irrig. Drain. (ICID)*. 51, 141-153.
- Rahimi, H. and Abbasi, N. 2008. Failure of concrete canal lining on sandy soils. *J. Irrig. Drain. Eng.* 57, 83-92.
- Rahimi, H. and Abbasi, N. 2015. *Geotechnical Engineering, Problematic Soils*. Tehran University Press. (in Persian)

- Rahimi, H., Davarzani, H. and Abbasi, N. 2004. Physical dispersivity phenomenon and its evaluation criteria in cohesionless soils. *Iranian Agric. Sci. J.* 35(3): 541-550.
- Rahimi H., Abbasi, N. and Shantia H. 2011. Application of geomembrane to control piping of sandy soil under concrete canal lining (case study: Moghan irrigation project, Iran). *Irrig. Drain.* 60, 330-337.

Archive of SID

## **Investigation on Causes of Destruction of Concrete Lining of Irrigation Canals Constructed on Gypsiferrous Soils (A Case Study for Shabankareh Irrigation Network)**

**N. Abbasi\* and R. Bahramloo**

\* Corresponding Author: Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: nader\_iaeri@yahoo.com

Received: 18 December 2017, Accepted: 13 March 2018

In this research, the reasons of failures in concrete linings in Shabankareh irrigation project were studied. In this context, a detailed field survey was performed and all concerning technical reports were studied. In the second stage, several test pits were dug along the canal embankment and soil samples were taken from different depths. All samples were tested for their chemical, physical and mechanical properties. The results of grain size analysis and Atterberg Limits tests showed that most samples were coarse grained soils with classification of GP, GM, GP-GM and SM according to USCS standards. The results of Pin Hole tests showed that some samples were of medium to highly dispersive type. The results of the chemical tests indicated that the gypsum content of the soils varied from 2 to 70 percent. Based on the overall results of the field and laboratory investigations, the main causes of the damages to the lining were related to geotechnical properties of the foundation soil. Also, it was concluded that the existence of gypsum particles in the bed materials was mainly responsible for the failures. Finally it was observed that Gypsiferrous soil layers under the lining were easily dissolved and eroded by seepage flow and surface runoff and cavities were formed extensively, which in turn caused lack of support of the concrete slabs, and general failure of the lining.

**Keywords:** Canal Lining, Irrigation Networks, Lining Failure, Problematic Soils, Shabankareh