(یادداشت پژوهشی)

مطالعه علل پدیده گسیختگی زمین در جاده‌های دشت یزد – اردکان

علی کمک‌پناه، دانشیار، دانشکدهٔ فنی – مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
E-mail: a-panah@modares.ac.ir

چکیده

در دو دهه اخیر نشست و گسیختگی زمین در استان یزد و بخصوص در دشت یزد- اردکان عامل ایجاد خسارتهای فراوان در این منطقه شده است. نمود ظاهری گسیختگی ها به صورت نشست و ترک های بزرگ در سطح جاده‌ها و ساختمانهای مسکونی و اداری، شکسته شدن لوله های آبرسانی و سوخت رسانی،کج شدن دکل های انتقال برق، و باز شدن ترکها در زمین های کشاورزی نمایان است. در تحقیق حاضر که پس از چندین بررسی بی‌نتیجه قبلی انجام پذیرفته است، یک گمانه عمیق و چهار گمانه سطحی حفر شده و ضمن بررسی نحوه انتشار ترکها در داخل زمین نمونه‌های اخذ شده تحت آزمایشهای گوناگون فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی قرار گرفته‌اند. این تحقیق نشان داد که دو عامل بیرونی و درونی موجب گسیختگی‌ها شده‌اند. شکل توپوگرافی و شرایط جریانهای سطحی و تمرکز جریانها در یک محل محدود به همراه رمبندگی خاک و وجود تخلخل زیاد موجب ایجاد ترکهای شعاعی و محیطی همراه با نشست و با قابلیت گسترش می‌شود. با مشخص شدن ساز و کار گسیختگی‌ها، روشهای ترمیم و ممانعت از تخریب در جاده‌ها، ساختمانها و تأسیسات پیشنهاد شده است. ایجاد آبرو در محلهای تجمع آب، پر کردن داخل ترکها به وسیله مخلوط خاک سیمان و ایجاد مسیرهای کنترل شده جریانهای سطحی با ساختن دایکهای کم ارتفاع از جمله روشهای ترمیم و جلوگیری از تخریب و فرسایش است.

واژه‌های کلیدی: گسیختگی زمین، نشست، ترک زمین، رمبندگی‌خاک، فرسایش، نشست راهها

۱. مقدمه

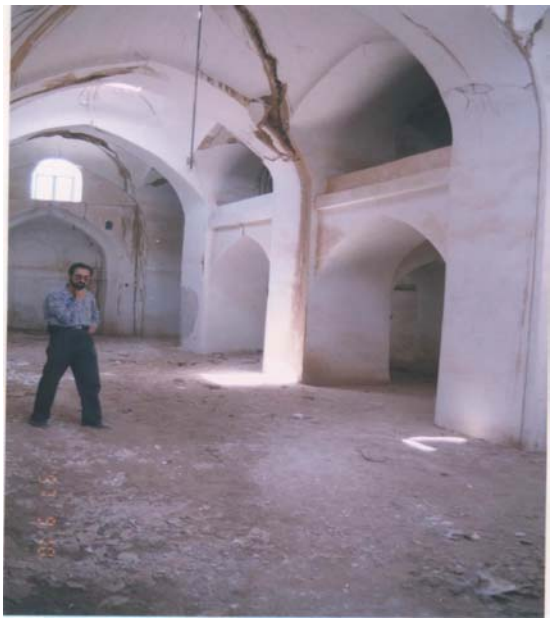
یکی از مشکلات موجود در امر ساخت و ساز و گسترش ناحیه شهری و خطوط مواصلاتی در استان یزد، بروز گسیختگی‌های متعدد در سطح زمین، در مناطق حد فاصل شهرهای یزد- اردکان است. این پدیده که عموماً با نشست زمین همراه است، در مهندسی ژئوتکنیک تحت عنوان نشست منطقه ای زمین[1] شناخته می‌شود. پدیده نشست و گسیختگی زمین در مناطق مختلف جهان مشاهده شده است. در کشور آمریکا و در دره پیکاچو در طی سالهای ۱۹۲۵ تا ۱۹۷۵ نشستی معادل ۹ متر رخ داده و باعث گسیختگی‌های سطحی و خسارتی معادل یکصد میلیون دلار در منطقه شده است(۱). در منطقه‌ای از شهر توکیو طی ۳۵ سال اخیر نشست‌هایی معادل ۳ تا ٤ متر و در ناحیه‌ای در شهر مکزیکو سیتی طی ۲۵ سال اخیر نشستهایی تا ٦ متر هم گزارش شده است. در هر دو شهر این نشست‌ها با ترک و گسیختگی راه‌ها و سازه‌ها همراه بوده است (۱). همچنین این پدیده در کشورهایی مانند ونزوئلا، عربستان سعودی، تایلند، لهستان، انگلستان، ایتالیا و ... دیده شده است. در ایران و در مناطقی از کرمان، رفسنجان و سیرجان، دشت مشهد و دشت یزد - اردکان بروز این پدیده مشکلات حادی را ایجاد کرده است(۱) .

تاریخ دریافت: ۸۵/۰٤/۰۵ – تاریخ پذیرش: ۸۵/۱۱/۰۱

شکل ۱. امتداد گسیختگی در منطقه رستاق که جاده را قطع کرده است. افراد ایستاده در تصویر جهت و امتداد این گسیختگی را در جاده و بعد از آن نشان می دهند.

شکل۲. حفره ایجاد شده در منطقه شمس آباد میبد و گسیختگی‌های شعاعی در اطراف حفره

شکل۳. جابه جایی‌نسبی‌قسمتهای مختلف دیوار حیاط نسبت به هم و ایجاد گسیختگی در محلهای تمرکز تنش (شهرک امام جعفر صادق)



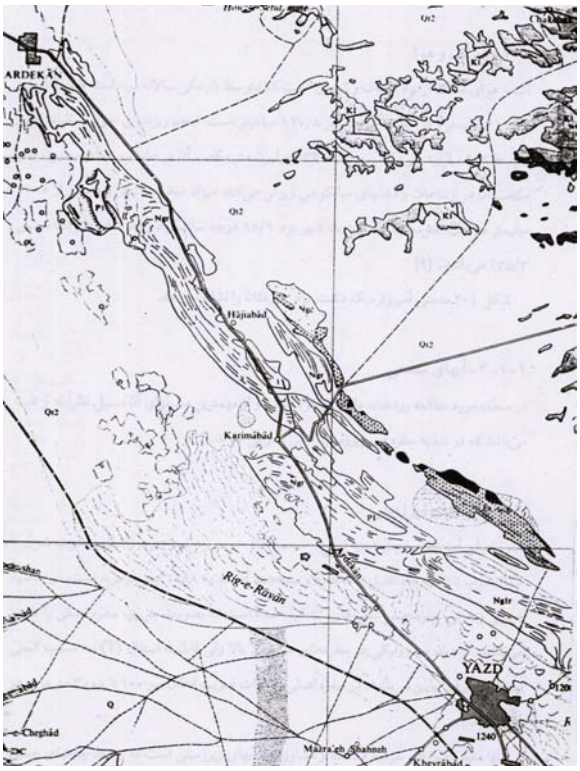
شکل٤. ایجاد گسیختگی در زمین (کف) مسجد که موجب گسیختگی طاق‌ها شده است.

در دشت یزد – اردکان در طی ۲۰ الی ۳۰ سال اخیر پدیده گسیختگی به شکل جدی بر سازه‌ها و جاده‌های مواصلاتی منطقه ظاهر شده و موجب خسارتهایی شده است. البته در منطقه میبد طبق گفته اهالی کهنسال منطقه، در سالهای قبل از سه دهه اخیر نیز ریزش و ایجاد حفره در زمین‌های کشاورزی و گسیختگی در دیوارهای ساختمانها وجود داشته است. شکل‌های ۱ الی ٤ چند تصویر از این گسیختگی‌ها را نشان می‌دهند. در این پژوهش سعی شده است که علت یا علل گسیختگی و نشست زمین در دشت یزد – اردکان شناسایی شود، تا با استفاده از شناخت ساز و کار گسیختگی‌ها بتوان راه حلهای مناسب برای جلوگیری از ایجاد خسارتها، پیشنهادکرد.

۲. آشنایی با مناطق تحت تأثیر پدیده گسیختگی در دشت یزد – اردکان

این منطقه جزیی از حوزه آبریز کویر سیاه کوه است که بین طولهای ۵۳ درجه و ٤۵ دقیقه تا ٥٤ درجه و ۵۰ دقیقه و عرضهای شمالی ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه تقریباً در مرکز استان یزد واقع شده است (شکل ۵). آب و هوای منطقه از نوع خشک کویری است که متوسط بارندگی سالانه در دشت طبق آمار ۱۸ ساله ٦۱ میلیمتر است. سفره اصلی آب زیرزمینی دشت از ناحیه فهرج– محمدآباد در حومه یزد شروع و در راستای جنوب

شرق- شمال غرب تا ناحیه چاه افضل ادامه دارد و مساحت آن حدود ۲۰۸۸ کیلومتر مربع است.



شکل۵. موقعیت جغرافیایی دشت یزد- اردکان

در حاشیه جنوبی و غربی سفره اصلی، سفره‌هایی تشکیل شده‌اند که به صورت سرریز، سفره اصلی را تأمین می‌کنند. گرادیان هیدرولیکی در سفره‌های سرریزی بالا ولی قابلیت انتقال به سبب کمی ضخامت آبرفت پایین است. در سفره اصلی تغییرات ضریب انتقال بین ۱۰۰ تا ۳۰۰۰ مترمربع در روز است [۱]. مطالعات زمین شناسی عمومی در وسعتی معادل ۱۷٤۱۵ کیلومتر مربع صورت گرفته‌اند که از قدیمی‌ترین تشکیلات مربوط به پرکامبرین تا دوران چهارم را در بر می‌گیرند. تشکیلات آهکی کرتاسه بیشترین سطح یعنی ۲۵ درصد کل رخنمونها را به خود اختصاص داده است و گرانیت‌های شیرکوه ۱۸ درصد را تشکیل می‌دهند. از نظر تکتونیکی تأثیرات مهمی بر این تشکیلات وارد شده است و تشکیل گسل مهمی چون گسل مهریز - پوزه دمه، گسل طرزجان تفت و گسل پیشکوه تفت که همگی به آبرفت منتهی شده‌اند، بر پیچیدگی نحوه تغذیه سفره آب زیرمینی افزوده است. به نظر می‌رسد که دشت یزد - اردکان یک ناودیس بزرگ باشد که قسمتی از آن به وسیله تشکیلات نئوژن و قسمت عمده دیگر به وسیله آبرفتهای متوسط - دانه تا درشت- دانه با ضخامت‌های متفاوت پر شده است. ضخامت آبرفت در بعضی نواحی به ٤۰۰ متر می‌رسد. سفره آب زیرمینی در جهت جریان از ناحیه رستاق به بعد، به دو سفره آزاد و تحت فشار تبدیل می‌شود. گسیختگی‌ها در مناطق میبد، اردکان، رستاق، اشکذر، زارچ و یزد یا در سطح زمین و یا به صورت نشست و ترک در سازه‌ها دیده می‌شود که خسارتهایی را در این مناطق به ساختمانها و جاده‌ها وارد کرده است. در منطقه شمس آباد میبد زمانی که زمین‌های کشاورزی چندسال به حالت آیش رها شده و سپس به شیوه غرقابی آبیاری شوند، گسیختگی‌های حفره‌ای ایجاد می‌شود. چاه‌های آب در این منطقه و در منطقه رستاق بعد از چند سال دچار افت شدید آبدهی می‌شوند. همچنین در منطقه رستاق در کنار بعضی از چاههای آب آشامیدنی نظیر چاه آب صدرآباد و روستای غرآباد، نشست زمین و گسیختگی ساختمانهای اطراف چاه مشاهده شده است. در منطقه چرخاب شکسته شدن لوله در اثر نشت آب و نشست خاک اطراف لوله دیده شده است.

۳. علل محتمل ایجاد نشست و گسیختگی در سطح زمین

برای مطالعه مقدماتی پدیده نشست و گسیختگی می‌توان سه عامل کلی ژئوتکنیکی را در نظر گرفت که به قرار زیراند:

۱. نشست بر اثر استخراج آبهای زیرزمینی

۲. نشست بر اثر فرسایش و آبشستگی در خاکهای ناپایدار[1]

۳. نشست بر اثر ریزش زمین در توده‌های کارستی

در ادامه هر یک از این عوامل توضیح داده خواهند شد.

۳-۱ نشست بر اثر استخراج آبهای زیرزمینی

در مناطقی که با بیلان منفی حوزه آبریز و بهره برداری بی رویه از آبهای زیرزمینی روبه‌رو هستیم، افزایش تنش مؤثر خاک می‌تواند عامل اصلی تراکم و فشردگی لایه‌های زمین شده و در نتیجه نشست در سطح زمین ظاهر شود.

تنش مؤثر در هر عمقی از خاک از رابطه:

$$P_i = P_t - P_h \qquad (۱)$$

محاسبه می‌شود که در آن: P_i تنش مؤثر، P_t تنش کل، P_h فشارهیدرولیکی در هر عمق است. حال اگر P_h به گونه‌ای کاهش یابد و یا P_t افزایش یابد مقدارتنش مؤثر نیز افزایش پیدا کند.

دراکثر آبخوانها به علت برداشت بیش از حد آب، زمان سطح آب زیرزمینی به مرور کاهش یافته و در هر لایه P_h کاهش یافته و در نتیجه P_i افزایش می‌یابد و لایه‌ها نشست می‌کنند. حال اگر این نشست در محل برآمدگیهای سنگ کف باشد، در محل برآمدگی، گسیختگی بر سطح زمین ایجاد می‌شود و اگر نشست در دشت باشد در محل کناره‌های دشت و نزدیک به کوهپایه‌ها گسیختگی‌هایی به موازات خطوط تراز ارتفاعی ایجاد می‌شود.
همچنین جریانهای رو به پایین آب حتی اگر سطح آب افت نکند باعث کاهش P_h و افزایش P_i شده و موجب نشست لایه‌ها می‌شود. در جریانهای تراوش افقی، فشار ناشی از تراوش باعث کرنشهای افقی شده و شکافهایی را به شکل هم مرکز با مخروط افت آب به وجود می آورند که رشد شکافها به صورت شعاعی بوده و به سمت کناره‌های مخروط کاهش می‌یابد. البته در جایی که مواد درشت دانه و ریزدانه لایه آبده به صورت لایه لایه روی هم قرار گرفته باشند، جریان حاکم از بین مصالح ریزدانه به صورت عمودی و از بین مصالح درشت دانه به صورت افقی است.

۳-۲ نشست بر اثر فرسایش و آبشستگی در خاکهای ناپایدار

افزایش رطوبت ناشی از بارندگی و سیلابها باعث ایجاد گسیختگی در خاکهای ناپایدار می شود. در این قسمت با تقسیم خاکهای ناپایدار به دو گروه خاکهای رمبنده[۲] و خاکهای واگرا [۳] اثر افزایش رطوبت بر هر یک به طور جداگانه بررسی می‌شود.

الف) خاکهای رمبنده

این خاکها عموماً نهشته‌های لوسی[۴]هستند و در دشتهای ساحلی، مناطق بیابانی و عوارض آتشفشانی وجود دارند. این دسته از خاک‌ها عموماً دارای چسبندگی بوده و رنگ آنها قهوه‌ای روشن است. اندازه ذرات آنها بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۵ میلیمتر است و چسبندگی ذرات به علت وجود مواد بسیار ریزدانه آهکی و رسی و یا نمکهایی مانند سولفاتها، کربناتها، کلریدها و ژیپسها هستند. در اثر افزایش رطوبت این مواد چسباننده شسته شده و باعث فرسایش سطحی و زیرسطحی می شوند، به این معنی که ذرات خاک توسط جریان آب پس از تغییر حجم حرکت کرده و با ایجاد حفره هایی سبب ریزش زمین می‌شوند. در این نوع خاکها به علت وجود سوراخهای طویل قائم در آنها که یا به علت ریشه گیاهان و یا بر اثر پدیده رگاب[۵] تشکیل می‌شوند نفوذپذیری در جهت افقی بسیار کمتر از جهت قائم است.

ب) خاکهای واگرا

وجود رسهای واگرا نیز عامل ایجاد گسیختگی در سطح زمین است. این رسها در اثر تماس با آب، ساختمانی ناپایدار پیدا می‌کنند که این ناپایداری به علت جداشدگی کانی‌های رس در خاک‌تر است. معمولاً در مناطق در بردارنده خاکهای واگرا، آثار آبشستگی از قبیل کانالهای تنگ و عمیق طبیعی، خلل و فرج و حفره‌های بزرگ یا دیوارهای عمودی، جویبارها، تونلها و آب شستگی‌های کوزه‌ای شکل دیده می‌شود.
آبشستگی کوزه‌ای شکل به آن دسته از آبشستگی‌ها گفته می‌شود که در آن میزان فرسایش خاک در اعماق بیش از فرسایش آن در سطح زمین است. حفره‌های ناشی از آبشستگی مذکور معمولاً به تونلهایی منتهی می‌شوند که غالباً در ترازهای پایین تر سطح زمین ظاهر می‌شوند. آثار سطحی این تونلها را در صورت وجود می‌توان در بستر جریان آبهای سطحی و آب باران، در شیبهای طبیعی و شیبهای حاصل از خاکبرداری و خاکریزی مشاهده کرد.

۳-۳ نشست بر اثر ریزش زمین در توده‌های کارستی

کارست در اثر انحلال سنگهای آهکی، گچی، آنیدرید، هالیت و دیگر سنگهای قابل حل به صورت گسترش حفره‌ها و شکافهای موجود در توده سنگ ایجاد می‌شود. این فعل و انفعال باعث شکل‌گیری حفره‌های بزرگ با دیوار قائم شده و موجب نشست زمین می‌شود.
به عنوان مثال شکل‌گیری تخلخل‌های زیر سطحی در سنگ آهک به علت انحلال سنگ در آب است، به‌گونه‌ای که آبی که باعث انحلال آهک می‌شود درهنگام نفوذ درخاک مقادیری CO_2 (دی اکسیدکربن) و دیگر مواد شیمیایی را در خود حل می‌کند. در این هنگام سرعت انحلال شیمیایی به علت افزوده شدن خاصیت اسیدی آب به علت انحلال CO_2 افزوده شده و بر اثر ترکیب با کربنات کلسیم منجربه شکل‌گیری بی‌کربنات (HCO_3) می‌شود. این فعالیت باعث ریزشهای بعدی یا گسترش ریزشهای قبلی می‌شود.

٤. مطالعات و آزمایشهای انجام شده قبلی

در مورد پدیده گسیختگی در دشت یزد - اردکان مطالعات بسیار محدودی تاقبل از این تحقیق صورت گرفته است. گزارش اخوان طباطبایی [۲] موارد متعدد نشست زمین و بالا آمدن لوله چاهها را در منطقه گزارش کرده است و در نهایت علت نشست زمین را ناشی از افت سطح آب سفره های زیرزمینی دانسته است.

صالحی[۳] در گزارش خود تحت عنوان عوامل شکست سازه‌ها در منطقه کویری ایران حضور مقدار قابل توجه کانی مونتوریونیت در خاکهای رسی را که قابلیت ایجاد پتانسیل قابل توجه جذب آب دارد عامل شکست سازه‌ها می‌داند. همچنین براساس آزمایشهای مکانیک خاک اداره راه و ترابری استان یزد، در نمونه‌های منطقه‌های زارچ و اشکذر در شهر زارچ و در گمانه‌های ۱۵ متری، نوع خاک CL تشخیص داده شده که البته لایه‌هایی از MH نیز مشاهده شده است. اندازه دانه‌ها در محدوده بین ۵mm تا ۰/۰۰۳mm بوده و نتایج آزمایش SPT بیانگر ۵۰ ضربه برای نفوذ کمتر از ۱۵cm است. دیگر خصوصیات ژئوتکنیکی خاک در این منطقه به قرار زیر گزارش شده است:

$5^{\circ}<\varphi<15^{\circ}$
$0.1<C<0.7\ kg/cm^2$
$10^{-5}<k<10^{-3}\ cm/s$
$\gamma = 1.6\ t/m^3$
$\%0.01<SO_3<\%0.17$
$\%30<LL<\%54$
$\%8<PI<\%20$

درمنطقه اشکذر در گمانه های ۱۵ متری لایه‌های CH و ML و MH و CL وجود دارد و بر اساس آزمایش سه محوری زهکشی نشده مقدار $C=1kg/cm^2$ و $\varphi = 0$ به دست‌آمده و بر اساس آزمایشهای هویتی مقادیر زیر گزارش شده‌اند:

$\gamma = 1.8\ t/m^3$ $\%3<PI<\%37$
$\%26< LL< \%61$
$2.4\times10^{-6}\ cm/s <K<4.18\times10^{-5}\ cm/s$
$\%0.03< SO_3$

ابعاد دانه‌ها بین ۲۰ تا ۰/۰۰۱ میلیمتر بوده و مقدار نفوذ SPT، ۵۰ ضربه برای کمتر از ۱۵cm است. به علاوه زاده، ده آلادی و پسران (۱۹۹۳) با استناد به آزمایشهای فوکسی ونیل (۱۹٦۹) تعدادی از خصوصیات ژئوتکنیکی دشت یزد - اردکان را مشخص کرده‌اند که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است [٤].

همچنین با توجه به معیارهای فدا و دنیسوف $k_L = 0.21$ و $k = 1.52$ محاسبه شده است که نشان از رمبندگی خاک منطقه دارد و اندیس فشردگی (C_c) برای یک نمونه ۰/۲۳ به دست آمده است. بر اساس آنالیز انکسار اشعه x مشخص شده که بخش اعظم خاک لوسی منطقه را کوارتز تشکیل داده و سیمان ذرات لوسی کربنات است.

۵. مطالعات انجام شده در تحقیق حاضر

با توجه به بازدیدهای منطقه‌ای و انجام مطالعات سطحی و زمین شناسی مهندسی، یک گمانه عمیق و چهارگمانه دستی جهت انجام بررسی های زیر سطحی انتخاب و حفر شد. گمانه عمیق به عمق ۹۰ متر و به روش دورانی و با مغزه گیری کامل در طول گمانه در منطقه رستاق حفر شد. این گمانه در نزدیکی یکی از گسیختگی‌های بزرگ منطقه قرار دارد. برای گمانه های دستی دو محل برای حفاری در نظر گرفته شد. محل اول در حوالی گمانه عمیق انتخاب شد.

علت انتخاب این محل وجود گسیختگی‌های زیاد و مرتبط کردن اطلاعات گمانه دستی با گمانه ماشینی بود. در این محل دو گمانه حفر شد که یکی از آنها در کنار گمانه عمیق و بر روی شکاف و دومی در فاصله حدود ۱۵۰۰ متری از آن و در محلی که آثار سطحی از گسیختگی ها مشاهده نمی شد انتخاب شد. محل دوم به دلیل وجود گسیختگی های متعدد در منطقه شمس آباد میبد در نظر گرفته شد. در این محل نیز یکی از گمانه ها در محل گسیختگی‌ها و گمانه دیگر در محلی که گسیختگی سطحی در آنجا مشاهده نمی‌شد انتخاب شد. شکل ٦ تصویر شکاف را در عمق ۲ متری و شکل ۷ تصویر شکاف را در عمق ٦متری در گمانه نزدیک گمانه عمیق نشان می‌دهد. در این گمانه رسوبات تشکیل دهنده لایه های زمین تقریباً یکنواخت و از سیلت با درصدهای مختلف رس و در عمق ٤ تا ۵ متری عمدتاً رس است. از عمق هفت تا نه متری رسوبات ماسه‌ای شده و از نه تا ۱۱ متری رسوبات متراکم و سخت مارنی با رنگ سبز روشن وجود دارد. از یازده تا پانزده متری رسوبات عمدتاً سیلتی می‌شود.

با توجه به اینکه تشکیلات زمین مورد مطالعه شرایط بادرفتی دارد و عموماً در بادرفتها، رشد گیاهان در زمانهایی متفاوت در لایه‌های تشکیل شده اتفاق می‌افتد، بنابراین وجود ریشه‌های گیاهی و سپس پوسیدن آنها و تشکیل حفرات لوله‌ای از ویژگیهای منطقه مورد مطالعه است. رسوبات عموماً حفرات لوله‌ای شکل دارند که در اعماق مختلف از نظر قطر، شکل و پرشدگی

متفاوت‌اند. این حفره‌ها از سطح تا عمق دو متری در حد پنج میلیمتر قطر دارند و از تراکم آنها به طرف پایین کاسته می‌شوند. در عمق ۹ تا ۱۱ متری حفرات با قطر تا حد یک سانتیمتر هم دیده می‌شوند که درون این حفرات به وسیله رسوبات پر شده است.

شکل٦. تصویر شکاف در عمق دو متری در گمانه دستی نزدیک گمانه عمیق

شکل۷. تصویر شکاف در عمق شش متری در گمانه دستی نزدیک گمانه عمیق

در این گمانه دو گسیختگی وجود دارد یکی با بازشدگی حدود ۲۰ سانتیمتر که از سطح زمین نیز پیدا بود و دیگری که در سطح زمین قبل از حفاری قابل مشاهده نبود.

گسیختگی دوم بدون بازشدگی است و تا عمق حدود ۲ متری ادامه داشته و به پایان می‌رسد. گسیختگی اصلی با بازشدگی حدود ۲۰ سانتیمتر از سطح زمین شروع شده و با افزایش عمق از بازشدگی آن کاسته می‌شود به طوری که در عمق ۲ متری حدود ۱۵ سانتیمتر و در عمق٤ متری حدود ۷ سانتیمتر، در عمق ٦ تا ۷ متری کاملا بسته شده ولی به شکل یک درز تا عمق حدود هفت متری ادامه دارد. شکاف از عمق یک متر به طرف پایین به وسیله رسوبات بادی (عمدتاً ماسه‌ای) و ریشه گیاهان پر شده است. روند شکاف تقریباً عمودی به طرف پایین رفته است.

در گمانه دستی دیگری که در فاصله ۱۵۰۰ متری از گمانه فوق اما در محلی که گسیختگی در سطح زمین مشهود نبود حفر شد، به وضوح وجود ترکها اما با بازشدگی کمتر و در حدود یک سانتیمتر مشاهده شد. به عبارت دیگر رسوبات تشکیل دهنده دشت دارای درز و شکاف زیاد بالقوه است که می توانند با عوامل دیگری بازتر شوند.

گمانه عمیق در نزدیکی یکی از گسیختگی‌ها حفر شد. در ۱۰ متر اول حفاری برای گستردگی گسیختگی‌ها و ارتباط زیرسطحی آنها آب برگشتی وجود نداشت و در بیشتر قسمت‌ها نفوذپذیری خاک با وجود ریزدانه بودن آن زیاد بود. نکته قابل توجه آن است که در نمونه‌هایی که از عمق ۲۹ متری به بعد اخذ شده حفره‌هایی شبیه ریشه گیاهان و به صورت لوله‌ای وجود دارد که در آنها مواد سیاه رنگ و اثرات مواد ریزدانه سیلتی مشاهده می‌شود و نشان دهندهٔ پدیده رگاب در این قسمت از خاک است. ازعمق ٦٨ تا ۸۳ متری رگه‌های سفید رنگی شبیه نمک در خاک دیده شد و در پایان حفاری سطح آب زیرزمینی در عمق ٤٦/٦ متر از سطح زمین اندازه‌گیری شد. پس از دانه بندی مشخص شد که بخش اعظم خاک را سیلت تشکیل می‌دهد که میزان آن از ۵۰ درصد در ۲۸ متری تا ۹۵ درصد در ۷۹ متری تغییر می‌کند. این تغییر به تناوب در اعماق مختلف اتفاق می‌افتد. تعدادی از خصوصیات ژئوتکنیکی نمونه‌های حاصل از گمانه در جدول ۲ و نتایج آزمایش نفوذپذیری با بار افتادن (لوفران) در محل در جدول ۳ ارایه شده است. همچنین آزمایشهای تحکیم و تورم تعدادی از نمونه‌ها انجام شد که نتایج آن در جداول ٤ و ۵ نشان داده شده است.

جدول ۱. نتایج آزمایش‌های مکانیک خاک بر روی لوسهای یزد (به نقل از فوکس ونیل، ۱۹۶۹) [٤]

Sample	Particle size (per cent passing)					Atterberg limits		Density/moisture relationships		California bearing ratio%		Water soluble matter (%)
	20 mm	2 mm	0.06 mm	0.002 mm	Plastic limit %	Liquid limit %	Plasticity index %	Max. dry density (g/cm3)	Optimum moisture content %	unsoaked	soaked	
Apron Sandy desert	67 91	25 57	-- 32	-- 8	21 24	26 45	5 21	2.22 --	7.2 --	47.2 --	40.3 --	0.14 2.25
Sandy desert	90	50	7	--	--	--	--	2.12	42	42	39	2.05
Sandy desert	89	40	8	--	--	--	--	2.08	32.5	32.5	33.5	0.2
Sity desert	97	73	41	4	25	34	9	1.88	12.5	12.5	18.8	2.6
Sity desert	99	85	60	11	--	--	--	2.06	6.1	6.1	6.7	--
Sity desert	--	99	76	7	17	34	17	1.92	18.8	18.8	3.3	7.6
Loess	--	--	92	30	19	34	15	1.68	4.6	4.6	5	0.25
Loess	--	--	90	20	19	36	17	1.57	5.1	5.1	6.7	0.45
Loess	--	--	76	10	16	26	10	1.77	2.5	2.5	3.5	0.2
Dune Sand	--	--	99	--	--	--	--	1.68	16.4	16.4	6.3	0.25

جدول ۲. متوسط خصوصیات ژئوتکنیکی لایه‌ها در گمانه عمیق

عمق (m)	۰ ۱۰	۱۰ ۲۰	۲۰ ۳۰	۳۰ ٤۰	٤۰ ٥۰	٥۰ ٦۰	٦۰ ۷۰	۷۰ ۸۰	۸۰ ۹۰
γwett/m3	۱/۸۳	۱/۹۱	۱/۸۳	۱/۸۳	۱/۸٥	۱/۷٤	۱/۷٤	۱/۸٤	۱/۷٦
γdt/m3	۱/٥۰	۱/٥۷	۱/٦۰	۱/٥٦	۱/٥٤	۱/۳۳	۱/۳۸	۱/٥۱	۱/۳۹
W(%)	۲۲/۰	۲۱/۹	۱٤/٥	۱۷/۷	۲۰/۲	۳۰/۹	۲٦/٤	۲۲/۰	۲٦/۸
Gs	۲/۷۱	۲/۷۳	۲/٦۸	۲/٦۷	۲/٦٤	۲/٦۹	۲/٦۹	۲/٦۲	۲/٤۸
LL(%)	٥٦/۲	٤۱/۸	٤۹/۳	٤۳/٥	٤۳/٥	٦۳/۸	٥۳/٥	٥۰/۷	٥۸
PL(%)	۲۸/۸	۲۳/٤	۲۳/۱	۲٥/۷	۲۳/٦	۳٤/۱	۳٤/۱	۲۷/۱	۳۲/۹

جدول ۳. نتایج آزمایش لوفران در محل گمانه

عمق (m)	۱٤/٥	۲۰	۲٥	۳۰	۳٤/٥	٤۰	٤٤	٥۰
نفوذپذیری k×10-4(cm/s)	٤/۲	۰/۸۸	۲/٤۷	۱/۱۸	۱/٥٥	۲	۰/۹٤	۰/۰۱۸٦

جدول ٤. نتایج آزمایش تعیین فشار تورم

عمق (m)	٥/٦٠ ٤/٨٥	٢٤/٩٠ ٢٤/٦٠	٣٢/٩٠ ٣٢/٧٠	٤٠/٨٠ ٤٠/٣٠	٥٤/٠٠ ٥٣/٩٠	٦٠/٦٠ ٦٠/٤٠	٧٠/٧٠ ٧٠/٣٠	٨٣/١٠ ٨٢/٩٠
فشار تورم Kg/cm2	٠/٢	١/٥	٠	٠/١	٠/١	٠/٣	٠/٢	٠/٣

جدول ٥. نتایج آزمایش تحکیم

عمق (m)	٥٤/٠٠ ٥٣/٦٠	٦٠/٦٠ ٦٠/٤٠	٧٠/٧٠ ٧٠/٣٠	٨٣/١٠ ٨٢/٩٠
نشانه فشردگی (C_c)	٠/١٠٤٦	٠/١٥٢٨	٠/٢٠٠٦	٠/٠٩٣٣
نشانه تورم (C_s)	٠/٠٢٧٦	٠/٠٣٨٠	٠/٠٣٧٥	٠/٠٢٥٥
فشار پیش تحکیمی (P_c) kg/cm^2	٠/٥	٠/٩	١/٦	١/٧
فشارسربار موجود$P_0(kg/cm^2)$	٩/٧	١١/٠	١٢/٨	١٥/٠

جدول ٦. نتایج آزمایش شیمیایی خاک (مقادیر بر حسب گرم در ١٠٠cc محلول عصاره است)

نمونه	عمق (m)	Na-	K+	Ca2+	Mg2+	Cl-	HCO3-	$CO_{3^{2-}}$	$SO_{4^{2-}}$	TDS
١	١٨/٣٥-١٨/٧٥	٠/٠٢١	٠/٠٠١٣	٠/٠٠٦	٠/٠٠	٠/٠٢١	٠/٠٤	٠/٠٠	٠/٠٣١	٠/٠٨٦
٢	٣١/٧٠-٣٢/٠٠	٠/٠٢٥	٠/٠٠٠٨	٠/٠٠٨	٠/٠٠	٠/٠٣٥	٠/٠٤	٠/٠٠	٠/٠٢٥	٠/١١١
٣	٤١/٩٥-٤٢/٢٥	٠/٠١٧	٠/٠٠٠٦	٠/٠٠٤	٠/٠٠	٠/٠٢١	٠/٠٤	٠/٠٠	٠/٠٢٣	٠/٠٨١
٤	٥٠/٠٠-٥٠/٧٥	٠/٠٣٥	٠/٠٠١٣	٠/٠١٤	٠/٠٠٩	٠/٠٥٦	٠/٠٤	٠/٠٠	٠/٠٤٦	٠/١٩
٥	٦٠/٩٠-٦١/١٠	٠/٠٢٥	٠/٠٠٠٩	٠/٠١٦	٠/٠٠	٠/٠٥٣	٠/٠٤	٠/٠٠	٠/٠٤٦	٠/١٣٦
٦	٧٦/٩٠-٧٧/٢٠	٠/٠٢٠	٠/٠٠١٣	٠/٠١٤	٠/٠٠١٤	٠/٠٤٩	٠/٠٤	٠/٠٠	٠/٠٣٧	٠/١٣٦
٧	٨٥/٩٠-٨٦/٣٥	٠/٠٢٥	٠/٠٠١٤	٠/٠١٤	٠/٠٠	٠/٠٤٢	٠/٠٤	٠/٠٠	٠/٠٣٧	٠/١٣٢

بر اساس نتایج مربوط به آزمایش تحکیم نشست تحکیمی در اثر یک متر افت سطح آب در یک سال به میزان ١/٢٩ سانتیمتر محاسبه شد. همچنین بر اساس نتایج آزمایشهای واگرایی (آزمایشهای کرامب[٦] و پین هول[٧]) مشخص شد که رسهای موجود واگرا نیستند.

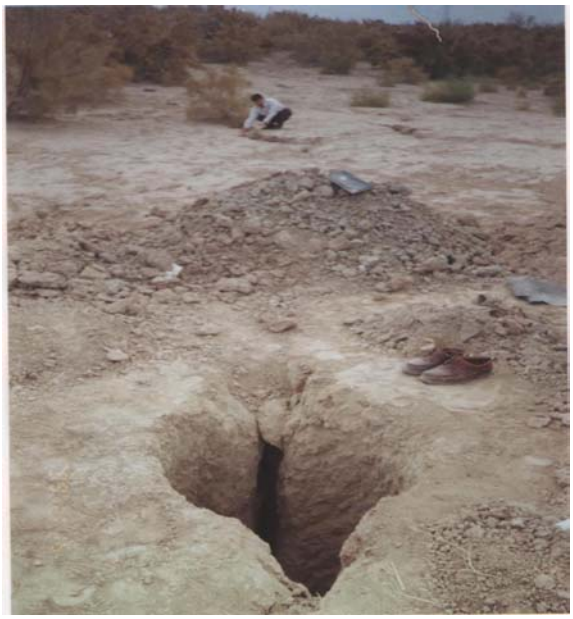
آزمایش تعیین پتانسیل رمبندگی نیز بر چهار نمونه در عمق‌های (٥٠/٧٥-٥٠) و (٤١/٧٠-٤٢/٨٥) و(٧٩/٩٠-٨٠/١) و (١٢/٣٠-١١/٩٠) انجام شد که به ترتیب مقادیر $I_c = 0.3\%$ و $I_c = 6\%$ و $I_c = 9.8\%$ و $I_c = 0.2\%$ حاصل شد که نشان دهنده آن است که در قسمت‌هایی خاک رمبنده بوده و در عمق‌هایی خاک دارای پتانسیل رمبندگی پایین است. همچنین آزمایشهای شیمیایی خاک نشان داد که در ساختمان خاک نمکهای قابل انحلال NaCl، $MaHCO_3$، Na_2SO_4 ، $MgCl_2$،$MgSO_4$، $Mg(HCO3)_2$، $CaCl_2$، $Ca(HCO_3)_2$، KCl، K_2SO_4 و $KHCO_3$ وجود دارد که با توجه به فراوانی کاتیون Na^+ نسبت به دیگر کاتیونها و فراوانی آنیون Cl^- نسبت به مولکول‌های Na^+ فراوانی NaCl بیش از سایر نمکها بوده و این فراوانی باعث متلاشی شدن ساختمان خاک در اثر افزایش رطوبت شده و عامل رمبندگی خاک است. نتایج آزمایشهای شیمیایی در جدول ٦ نشان داده شده‌است.

٦. تعیین علت گسیختگی‌ها

٦-١ اثر عوامل بیرونی

توجه به توپوگرافی دشت یزد - اردکان نشان می‌دهد که به طور کلی شیب این سرزمین بسیار کم بوده و شرایط یک دشت بادرفتی را داراست. به طورکلی مناطق کویری و حاشیه کویری که از دشت‌های وسیع بادرفتی تشکیل شده‌اند شیب بسیار کم دارند. از طرف دیگر معمولاًرودخانه‌ها و زهکشهای سطحی به دلیل شیب کم و بارندگی کم در چنین مناطقی تشکیل نمی‌شوند و اگر هم مسیرهایی برای زهکشهای سطحی پیدا شود با ماسه‌های بادی سریعاً پر شده و مسیر آنها کور می شود. با توجه به توضیح بالا، دشت یزد - اردکان هم تقریباً چنین شرایطی را داراست. در چنین شرایطی وقتی بارندگی‌های با میزان کم اتفاق افتد، در کل دشت مقداری از آن جذب زمین و خاک شده و مقداری نیز تبخیر می‌شود. این شرایط در اکثر مواقع از سال بر چنین مناطقی حکمفرماست. حال اگر یک رگبار شدید و با میزان بارندگی بالا اتفاق افتد، مقدار ریزش بر مقدار جذب به اضافه تبخیر فزونی یافته و به عبارت دیگر جریانهای سطحی اتفاق می‌افتند. در توپوگرافی پایدار، جریانهای سطحی از طریق زهکشهای سطحی تجمع یافته و مسیر خود را به سمت خط القعر پیدا کرده و به رودخانه‌ها می‌پیوندند. اما در شرایط ویژهٔ دشت‌هایی همچون یزد - اردکان این جریانها به دلیل شیب بسیار کم الزاماً باید در مکانهایی به صورت موضعی جمع شده و به صورت استخرها و ماندابهای طبیعی در مدت زمان نسبتاً طولانی موجب تبخیر شوند که آشکار است مقداری از آب نیز از طریق منافذ زمین به آبهای زیرزمینی خواهد پیوست. در غیر این صورت از طریق پیدا کردن مسیر و یا حفره‌های ممتد جریانهای سطحی به طور مستقیم به جریانهای آبهای زیرزمینی خواهند پیوست. علت وجود چنین راه آبهایی، ریشه‌های قدیمی گیاهان است که در داخل لایه‌های زمین پوسیده و سپس به دلیل شرایط خاص در اعماق زمین به هم پیوسته و مسیر جریان آب را تشکیل می‌دهند. بجز گیاهان، حفره‌های زیادی نیز از طریق حیوانات و نرم‌تنان در مرور زمان در داخل لایه‌های خاک تشکیل می‌شوند. به طور کلی در عمده موارد تخلخل خاک در این نوع زمینها بسیار زیاد است. آزمایشهای نفوذپذیری در محل نیز که در گمانه ماشینی انجام شده است نفوذپذیری بسیار زیادی را نشان می‌دهد. جریان آب از طریق چنین حفره‌هایی فرسایش خاک را همراه خواهد داشت، به ویژه در مناطقی که تشکیلات سیلتی است، این فرسایش بیشتر است. گسیختگی‌های به وجود آمده در دشت یزد - اردکان نیز از این نوع است. یعنی به دلیل وجود بارندگیهایی در این دشت، در مناطقی که از نظر توپوگرافی امکان تجمع آب یک سطح نسبتاً وسیع در یک مکان پست وجود دارد، لوله های به وجود آمده از پوسیدن ریشه‌های گیاهی در بعضی از این مناطق پست امکان جریان آب سطحی به زیرزمین را ایجاد کرده است. وجود رسوبات جریانهای سطحی در داخل این حفرات در اکتشافات محلی مبین این ادعاست. وقتی که چنین مرکزیتی برای انتقال جریانهای سطحی به اعماق زمین ایجاد شود، این محل موقعیت تجمع جریانهای سطحی را در رگبارها به خود می‌گیرد. در رگبارها، جریانهای سطحی با توجه به شیبهای محلی الزاماً خود را به این منطقه می‌رسانند. در مسیرهای کوتاه این جریانها، ترکهای موجود در لایه‌های زمین موجبات تسریع جریان را به وجود می‌آورند. به طورکلی وجود ترک در زمین در چنین تشکیلاتی یک امر کاملاً عادی است و از دست دادن آب پس از تشکیل بادرفتها موجبات آنها را فراهم می‌سازند. در اکتشافات محلی مشاهده شد که حتی در محلهایی که ابداً گسیختگی در سطح زمین مشاهده نمی شود، در داخل زمین ترکهای بیشماری دیده می شوند. جریان آب از طریق این ترکها موجبات فرسایش داخل ترکها را فراهم می‌کند و به این ترتیب ترکهای شعاعی که در انتها به یک نقطه می‌رسند (محل جریان آب از سطح به عمق) مسیر جریانها را تشکیل می‌دهند. به دلیل فرسایش در داخل این ترکها گسیختگی‌های شعاعی به وجود می‌آید. در شکل ١ امتداد یک چنین گسیختگی شعاعی دیده می شود. گسیختگی‌های شعاعی و سپس تجمع آنها در یک مرکز که به مرور زمان با فرسایش های وسیع خاک نیز همراه است موجب به وجود آمدن گسیختگی‌های محیطی می شود که به صورت حلالهایی با مرکز یک محل جریان آب به عمق زمین همراه است.

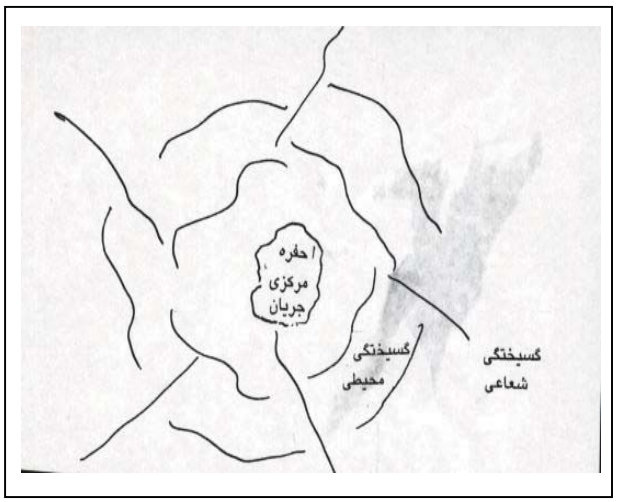
آشکار است که این گسیختگی‌ها، که حاصل فرسایش زمین و حرکت دانه‌های خاک از داخل زمین به سمت مرکز تجمع جریان است، شرایط متفاوتی نسبت به گسیختگی‌های شعاعی دارند. در این گسیختگی‌ها افتادن یک طرف از گسیختگی نسبت به طرف دیگر آن اتفاق می‌افتد. آشکار است که قسمت افتاده، بخش داخلی (نسبت به مرکز) است. شکل‌های ٨ و٩ به وضوح تصویر چنین گسیختگی را نشان می‌دهند.



شکل۸. گسیختگی محیطی در زمینی که گمانه دستی در آن حفر شده است.

شکل ۹. اختلاف ارتفاع ایجاد شده در دو طرف گسیختگی محیطی

یکی از نکاتی که باید توجه ویژه‌ای بـه آن مبـذول داشـت، سـطحی بودن این گسیختگی‌ها است. به طور کلی چه گسیختگی‌های شـعاعی و چه گسیختگی‌های محیطی به دلیل اینکه منشا سطحی دارند (آبهای سطحی)، در نزدیک سطح زمین شکل گرفتـه‌انـد. هـر چهـار گمانـه دستی حفـر شـده مؤیـد کامـل ایـن مدعاسـت. شـکل ۱۰ سـازوکار گسیختگی تشریح شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. شکل شماتیک ساز و کار گسیختگی زمین در دشت یزد- اردکان

با مشخص شدن ساز و کار گسیختگی، گروه تحقیق حاضر به دنبـال یافتن مرکز جریان شده و نهایتـاً بـرای بـزرگ‌تـرین گسـیختگی کـه عملیات اکتشافی حفاری ماشینی و دستی برای آن انجـام شـده بـود، حفره بسیار بزرگی پیدا شد که به وسیله ماسـه‌هـای بـادی پوشـانده شده است. آشکار است که بر اساس شـرایط آب و هـوایی مختلـف، چنین محلهایی گاهی پوشیده و گاهی قابل تشخیص هستند.

شکل‌های ۱۱و ۱۲ موقعیت حفره مرکزی پوشیده شده به وسیله ماسه بادی را نشان می‌دهند. در شکل ۱۲ کناره حفره که به وسیله ماسه پـر شده است به وضوح نشان داده شده است.

شکل ۱۱. حفره مرکزی جریانهای سطحی به داخل زمین که به وسیله ماسه بادی پر شده است.

شکل ۱۲. کناره حفره مرکزی گسیختگی‌ها که به وسیله ماسه بادی پر شده است.

متأسفانه به دلیل خطرناک بودن و وسعت بسیار زیاد این حفره، امکان عملیات اکتشافی و تصویربرداری از داخل آن وجود نداشته است. همان طور که در بخش‌های قبلی اشاره شد مقدار قابل ملاحظه‌ای از گسیختگی‌ها در چند دهه اخیر و به ویژه سالهای گذشته مشهود شده‌اند. با بررسیهای محلی مشخص شد که ساخت و سازهای انجام شده، به ویژه احداث جاده‌ها و بزرگراهها و همچنین خطوط لوله، بیشترین نقش را در این زمینه داشته‌اند. علت این مسئله قطع مسیر جریانهای سطحی، تغییر فیزیوگرافی سطح زمین با توجه به توپوگرافی با شیب بسیار کم و ایجاد جدایی در سطح زمین است. این ساخت و سازها در بیشتر موارد موجب هدایت جریانهای سطحی به سمتی معین شده‌اند که موجب گسیختگی‌های جدید شده و این گسیختگی‌ها دامنه خود را به ساختمان خود جاده‌ها گسترش داده و موجب تخریب آنها شده است. وجود گسیختگی‌های محیطی بر روی جاده‌ها موجب می‌شود که همه ساله اختلاف سطحی در دو طرف گسیختگی حاصل شود و الزاماً همه ساله باید ترمیم‌هایی بر روی پوشش آسفالتی جاده انجام پذیرد. همان طور که قبلاً اشاره شد گسیختگی‌های محدود با شکل توضیح داده شده، از قدیم در مزارع به وفور به وجود آمده اند. آشکار است علت این‌گسیختگی‌ها آبیاری داخل این مزارع بوده و ساز و کار گسیختگی دقیقاً همان ساز و کار تشریح شده بوده است.

گسیختگی‌های زیادی همچنین در منازل مسکونی منطقه شمس آباد میبد به وجود آمده است. بیشتر این گسیختگی‌ها در دیوارهای حیاطها اتفاق افتاده‌اند. تحقیقات نشان داده‌اند که وجود باغچه‌ها در حیاط منازل و آب دادن آنها، موجب گسیختگی‌های داخلی زمین به طور محدود شده و نشست هایی در دیوارها حاصل می‌شود.

٦-٢ اثر عوامل درونی

بر اساس مطالعات محلی و نتایج حاصل از آزمایشهای دانه بندی نمونه‌های به دست آمده از گمانه‌ها مشخص شد که بخش عمدهٔ خاک تشکیل دهنده سرزمین دشت یزد - اردکان سیلت است (بین ۰ تا ۹۵ درصد) که این سیلت‌ها به طور عمده بادرفتی بوده و به وسیله مواد چسباننده و نمکی و رسهای موجود (بین ۲ تا ٤٥ درصد) ساختمان خاک را تشکیل می‌دهند.

همچنین بر اساس نتایج آزمایشهای نفوذپذیری در محل، مشاهده شد که نفوذپذیری خاک منطقه زیاد بوده و بسیار بیش از نفوذ پذیری خاکهای ریزدانه مشابه است و نمونه‌های خاک به سرعت در آب متلاشی می‌شوند. علاوه بر این در نمونه‌های اخذ شده عمدتاً حفره‌هایی لوله ای که زاییده ریشه‌های گیاهان قدیمی پوسیده شده‌اند وجود دارد که این حفره‌ها تأثیر اصلی را در افزایش نفوذپذیری خاک دارند. آزمایشهای تعیین رمبندگی خاک نشان داد که خاک منطقه در بیشتر موارد رمبنده بوده و اثر این حالت از رفتار خاک در منطقه، به صورت شکسته شدن لوله آب به سبب نشت آب و فشار خاک مرطوب نمایان شده و یا در نشست اطراف چاههای منطقه قابل مشاهده است. این حالت از رفتار خاک در درون توده خاک به راحتی موجبات فرسایش آن را در جوار آب به وجود می‌آورد. آزمایشهای واگرایی خاک نشان دادند که رمبندگی به علت باز شدن باندهای رسی و شسته شدن رسهای موجود در خاک نبوده است. آزمایشهای شیمیایی خاک وجود نمکهای قابل حل در آب را نشان می‌دهد. بنابراین وجود این نمکها به ویژه کلرید سدیم و شسته شدن آنها در مقابل جریان آب عامل ریزش درونی خاک است. این ریزش در منطقه رستاق، باعث کم شدن شدید آبدهی چاهها در طی ۲ الی ۳ سال پس از حفاری و نشست زمین‌های اطراف چاه می‌شود. براساس آزمایشهای تحکیم و ضریب فشردگی محاسبه شده برای خاک مشخص شد که نشست‌های تحکیمی به تنهایی نمی‌توانند عامل گسیختگی باشند و میزان این نشستها بسیار کمتر از مقادیر دیده شده در محل است، به اضافه آن که این نشست‌ها تنها در سه دهه اخیر که افت سطح آبهای زیرزمینی زیاد بوده است، امکان

شکل‌گیری داشته‌اند در صورتی که گسیختگی و نشست، بالاخص در منطقه میبد از سالهای قبل از آن هم وجود داشته است.

همچنین گسیختگی‌ها به صورت موضعی و به شکل نفوذ آب در یک منطقه و ایجاد گسیختگی‌های طولی و محیطی و نشست‌های موضعی مشاهده می‌شوند. به عبارت دیگر در کل دشت یک نشست عمومی و گسیختگی گسترده مشاهده نشده است که این امر مبین عدم تأثیر قابل ملاحظه نشست تحکیمی است، زیرا در صورت تأثیر زیاد این عامل، نشست گسترده‌ای در تمامی قسمتهای دشت که منابع آب زیرزمینی در آنها وجود دارد دیده می‌شد. بر اساس اطلاعات به دست آمده از مطالعات شرکت آب منطقه‌ای یزد، عمق آبهای زیرزمینی در منطقه در ۵۰ تا ٦۰ متری سطح زمین قرار دارد و بر اساس هیدروگراف ۱۸ ساله، افت سطح آب زیرزمینی به طور متوسط ٤۷ سانتیمتر در سال و در محدوده یزد به علت تراکم چاههای بهره برداری تا ۷۵ سانتیمتر در سال است.

براساس محاسبات انجام شده در مرجع [۳]، برداشت نقطه‌ای و محلی آبهای زیرزمینی که ایجاد مخروطه‌های افت قابل توجه را به ویژه در خاکهای اصطکاکی (دانه‌ای) و چسبنده اصطکاکی (مخلوط رس با خاکهای دانه‌ای) می‌کند، با وجود افت سطح آب در دشت یزد – اردکان مصداق ندارد و دلیل آن نبود شکست سازه‌ها و راهها در کل حوزه یزد – اردکان است که سفره آب زیرزمینی به طور وسیعی در آن گسترده شده است. بنابراین علت گسیختگی‌ها و نشست، ریزش خاکهای رمبنده است که در کنار عوامل مؤثر بیرونی که قبلا تشریح شد ساز و کار اصلی گسیختگی را تشکیل داده است. بارندگی در دشت یزد – اردکان سالانه به طورمتوسط ٦۱ میلیمتر است که این میزان بارندگی به صورت چند رگبار شدید ظاهر می‌شود.

رواناب ناشی از این بارندگیها از طریق زهکشی موضعی سطحی (مطابق نشان داده شده در شکل ۱۰) در مسیر جریان خود و در محل تمرکز جریان از سطح به عمق ساختمان خاک را به علت حل مواد نمکی به هم می‌زند. این ریزش و از هم پاشیدگی خاک به هنگام پایین رفتن آب باران، حفره را بزرگ‌تر کرده و ترکهای موجود در خاک را تعریض می‌کند. هر یک از ترکها که تعریض می‌شوند در بارندگیهای بعدی به صورت زهکش سطحی در می‌آیند و بنابراین فرسایش آنها در بارندگیهای بعدی افزایش می‌یابد.

بنابراین با توجه به توضیحات فوق عواملی چند چون توپوگرافی دشت، عوامل انسانی، جریانهای سطحی، رمبندگی خاک و فرسایش، مجموعاً عوامل اصلی گسیختگی‌ها و نشست‌ها در منطقه دشت یزد– اردکان محسوب می‌شوند. افزایش تنش مؤثر ناشی از افت سطح آب زیرزمینی به عنوان عامل دیگر نشست و گسیختگی‌ها، تأثیر ناچیزی در منطقه دارد و عامل اصلی به شمارنمی آید.

۷. روش‌های جلوگیری ازگسیختگی‌ها

برای جلوگیری از گسیختگی‌های فزاینده و ترمیم جاده‌ها به طور خلاصه می‌توان به روشهای زیر عمل کرد:

الف. با توجه به عدم وجود خط القعرهای مشخص، در اغلب موارد جاده ها در مکانهای تجمع آب و مسیرهای جریانهای رگباری دارای آبرو نیستند. بنابراین لازم است چنین محل هایی شناسایی شده و با اجرای آبرو از تجمع آب در کنار جاده جلوگیری شود.

ب. برای جلوگیری از انتشار بیشتر ترکها و گسیختگی در حوالی جاده‌ها و تاسیسات دیگر، لازم است پس از پاک کردن خاکهای داخل، با مخلوط کردن خاکها با سیمان (خاک سیمان) نسبت به پر کردن آنها اقدام شود.

ج. برای زمان رگبارها، با ایجاد دایک‌های کم‌ارتفاع با خاکهای غیرقابل فرسایش، مسیرهای کنترل شده‌ای را برای جریان‌های سریع و موقت آب باز کند. این جریانها باید به محل‌های پستی که به مقدار کافی دورتر از جاده‌های مواصلاتی و تأسیسات دیگر هستند هدایت شوند تا ازطریق آن محل‌ها به آب زیرزمینی بپیوندند. با توجه به نفوذپذیری زیاد زمین ایجاد چاههای دهانه گشاد برای این منظور می‌تواند مفید باشد، به طوری که فرسایش‌های دیگری گسترش نیابند.

۸. نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعات نسبتاً کامل انجام شده در پروفیل زمین دشت یزد – اردکان و انجام آزمایشهای مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی بر روی مصالح خاکی به دست آمده از گمانه‌های حفر شده، دلیل گسیختگی زمین و نشست راهها و سایر سازه‌ها در این دشت به عوامل بیرونی و درونی ارتباط دارد. عوامل درونی عبارتند از: تجمع

آب در مکانهای خاص به دلیل شیب بسیار کم زمین، وجود حفره‌های لوله‌ای حاصل از پوسیدگی ریشه‌های گیاهی و جریان آب به درون زمین از طریق آنها، که موجب فرسایش و ایجاد ترک در زمین می‌شود. عوامل درونی مربوط به دانه‌بندی خاکهای تشکیل‌دهنده زمین و رمبنده بودن خاک منطقه است. آزمایش‌های واگرایی خاک نشان دادند که رمبندگی به علت باز شدن باندهای رسی و شسته شدن رسهای موجود در خاک نبوده است. آزمایش‌های شیمیایی خاک وجود نمکهای قابل حل در آب را عامل رمبندگی نشان داد.

با مشخص شدن ساز و کار گسیختگی، روشهای ترمیم و ممانعت از تخریب در جادها، ساختمانها و تاسیسات دیگر پیشنهاد شد. ایجاد آبرو در محلهای تجمع آب، پر کردن داخل ترکها به وسیله مخلوط خاک و سیمان و ایجاد مسیرهای کنترل شده جریانهای سطحی با ساختن دایکهای کم ارتفاع از جمله روشهای ترمیم و ممانعت از تخریب و فرسایش است.

۹. سپاسگزاری

بخش مهمی از این تحقیق با همکاری آقای مهندس افشین عالمی تحت پایان نامه کارشناسی ارشد ایشان انجام پذیرفته است. بنابراین از زحمات ایشان تشکر و قدردانی می شود. همچنین این تحقیق از بودجه پژوهشی سازمان مسکن و شهرسازی استان یزد و از طریق امکانات و همکاریهای مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن انجام شده است که به این وسیله از همکاری و یاری آنها در رسیدن به نتیجه قدردانی و سپاسگزاری می‌شود.

۱۰. مراجع

۱- عالمی، افشین (۱۳۷٦) "بررسی پدیده نشست و گسیختگی سطح زمین در اثر استخراج آبهای زیرزمینی"، سمینار کارشناسی ارشد، مهندسی خاک و پی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- اخوان طباطبایی، سید مهدی (۱۳٦۵) "گزارش بررسی نشست زمین در دشت یزد- اردکان"، بی.نا.، بی.تا.

۳- صالحی، سید مصطفی (۱۳۷۵) "عوامل شکست سازه ها در مناطق کویری ایران"، گزارش به دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یزد، بی.تا.

4- Zadeh, A.M.H., Dehabadi, M.R.H. and Pesaran, G (1993) "What is nature and origin of the loess deposits of Iran and what are their engineering problems?", Proceedings of the Second International Seminar on Soil Mechanics and Foundation Engineering" Iran, Tehran.

۵- عالمی، افشین (۱۳۷۷) "بررسی علل نشست زمین در دشت یزد-اردکان"، پایان نامه کارشناسی ارشد عمران- خاک و پی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

پانویس‌ها

1- Land subsidence
2- Unstable soils
3- Collapsible
4- Dispersive soils
5- Loess
6- Piping
7- Cramb test
8- Pinhole test

Geotechnical Investigation on the Land Failure of Yazd-Ardakan Road Network

A. Komak Panah, Associate Professor, Tarbiat Modarres University,Department of Engineering, Tehran, Iran
E-mail: a-panah@modares-ac.ir

ABSTRACT
In the past two decades the land subsidence and ground failures in Yazd province, especially in Yazd - Ardakan flat area caused many damages and failures in existing roads and structures. The visual appearance of failures are generally: large subsidence in road body in the form of wide and deep cracks, structural failures and cracks in walls and foundations, breakage in water and gas or oil pipe lines, over turning of electrical transmission towers, and appearance of deep cracks and holes in agriculture lands. This research was taken place in Yazd - Ardakan flat after few previous unsatisfactory investigations. In this research a deep borehole and four hand cut holes were drilled and visual investigations throughout the crack distribution indicated that the both external and internal phenomena caused ground failures.
External Phenomenon
The topography maps of Yazd - Ardakan flat area indicate that the ground surface slopes are too small. As the area is arid with fewer rainfalls, rivers and surface water ways can not be created by flow concentrations. In most seasons a few millimeters of rainfall will evaporate or penetrate in ground without surface flow creation. In some cases when a rapid and a dense fall occur, there are no considerable flow ways for extra surface water. Therefore water will rise up in existence of low level grounds, creating natural pools, which their water will find holes to penetrate in ground as concentrated non-controlled flows. Investigations in ground of Yazd - Ardakan flat shows that there are old root holes in many cases which facilitate the concentration flows to underground portions. These flows erode soil and create holes with larger diameters. Due to these erosions, first radial cracks are generated around these holes, and then by extra erosions, circumferential cracks are added perpendicular to radial cracks.
Internal phenomenon
Based on laboratory tests, the ground soil is generally silty soil (0 to 95 percent silt). The silt particles are cemented by clay and salt. The water penetration test at site, showed that the soil permeability is too large compared to laboratory test results. The collapsibility tests in laboratory showed that the soil is collapsible in many cases. Dispersivity tests showed that the soluble salts in particle mid connections can be easily solved and it is enough to collapse soil. Based on the research results, some prevention and treatment methods are proposed. These methods may be described as; constructing artificial water ways, filling the cracks by soil cement mix and finally constructing the low dikes.By determining the failures mechanism, the repair and destruction prevention methods in roads, buildings and installations are proposed in this paper.

Keywords: Land failures, roads, soil erosion, geotechnical investigations, Iran