کارگاه سیستم زهکشی زیر پوشش کانال‌ها
۲۶ آذر ماه ۱۳۸۳

بررسی ترک‌های روکش بتنی در کانال‌های کشاورزی و آبیاری

سیاوش لیتکویی[۱]

چکیده

بروز درز و ترک در پوشش‌های بتنی کانالها و گاه جابجایی این پوشش‌ها که در دوره‌های مختلف ساخت کانال، آبگیری آزمایشی و بهره برداری مشاهده می‌شود بعلت ماهیت پیچیده ترکها و مشکل در تشخیص منشاء آنها نتوانسته راهگشائی برای عملیات ترمیمی‌در پروژه‌های اجرا شده و راهنمائی برای عملیات طراحی در پروژه‌های بعدی باشد. ماهیت پیچیده و عدم تشخیص منشاء ترکها طوری است که بعضاً ترکها و وجود آنها را با همه عوارض جنبی امری عادی، بدیهی و حتی اجتناب ناپذیر تلقی کنند.

درمقاله حاضر، با تکیه بر اطلاعات جمع آوری شده در یک پروژه تیپ، منشاء بروز ترکها در مقوله‌های زیر به تفکیک مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است:

- بتن، عملیات بتن ریزی، جزئیات عمل آوری و مقاومت بتن
- خاک و خصوصیات رفتاری خاکها چه در بستر طبیعی و چه در مناطق خاکریزی شده
- طراحی و جزئیات طرح
- بهره برداری (آزمایشی و دراز مدت)

بنابراین، ضمن تفکیک و دسته بندی ترکها، علت بروز آنها شناسائی شده است وضمن ارائه راه حل برای پروژه تیپ، براساس اطلاعات و تجربه بدست آمده، جهت جلوگیری از بروز این گونه عوارض در سایر پروژه‌ها پیشنهادهایی ارائه شده است.

۱- مهندسین مشاور خدمات مهندسی مکانیک خاک

۱- مقدمه

- درز، ترک و جابجایی در پوشش بتنی کانالهای احداث شده به منظور آبیاری مزارع غالباً بصورت امری بدیهی تلقی شده و توجه خاصی به بررسی آن نشده است. در بعضی موارد نیز که این گونه مسائل مورد بررسی قرار گرفته، نتایج ضد و نقیض و گاه گمراه کننده‌ای بدنبال داشته است. شاید علت اصلی، در پیچیدگی نوع و منشاء ترکها و حرکتها و یا در ترکیب احتمالی چند منشاء نهفته باشد.
- در مطالعات حاضر، سعی شده است که بررسیها از جهات و جوانب مختلف و بطور فراگیر در جستجوی علت و یا علل بروز این مسائل باشد. بعلت علاقه و همکاری کارفرما، تجربه وسیع مشاور طرح و امکانات موجود آزمایشگاه محلی جهت کنترل مصالح (بتنی و خاکی)، پروژه طرح کشت و صنعت نیشکر میان آب بعنوان یک الگوی نمونه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله بدون شک، مختص به این پروژه نیست و می‌تواند در پروژه‌های دیگر نیز صادق باشد. در طرح میان آب، کانالهای آبرسان و P1 پس از اتمام کارهای اجرایی در مهر ماه ۱۳۷۳ آبگیری شدند، اما در پی قطع آب ترکهائی در کانالها مشاهده شد که تشخیص منشاء آنها به سادگی میسر نشد و در نتیجه زمینه لازم جهت بررسیهای مفصل که در زیر می‌آید فراهم گردید.

۲- مختصری از شرح طرح

وسعت مفید طرح حدود ۶۳۰۰ هکتار و مساحت کل حدود ۹۶۰۰ هکتار است. اراضی طرح از شمال به جاده کارون ـ شوشتر، از شرق به رودخانه دز، از غرب به مزارع هفت تپه و از جنوب به راه آهن اندیمشک ـ اهواز محدود است.

کانال آبرسان به طول حدود ۵ کیلومتر، عرض کف ۳ متر، ارتفاع روکش بتنی ۳/۱۱ متر عمق نرمال آب ۲/۶۸، شیب جانبی قائم به افق $۱:۱\frac{۱}{۲}$، شیب طولی ۱۰۰،۰۰۰: ۱۵ و ضخامت روکش بتنی بیش از ۱۲ سانتی متر و غالباً تا ۱۵ سانتی متر اجرا شده است.

کانال P1 به طول حدود ۱۰ کیلومتر، عرض کف ۱ تا ۳ متر، ارتفاع روکش بتنی ۰/۹۵ تا ۲/۳۵ متر، عمق نرمال آب ۰/۷۵ تا ۲/۰۱ متر، شیب جانبی قائم به افق $۱:۱\frac{۱}{۲}$، شیب طولی ۱۰۰،۰۰۰: ۱۵ و ضخامت روکش بتنی۱۲ سانتی متر اجرا شده است. مقاومت ۴۲ روزه نمونه‌های بتنی هیچ گاه از ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع کمتر نبوده است.

در قسمت خاکریز از خاک رس با درصد پراکنده گچ تا حداکثر ۳ درصد استفاده شده است، هر چند لایه فوقانی به ضخامت ۱ متر عموماً از خاک عاری از گچ انتخاب شده است.

بطور کلی مشخصات خاکریزیها درکانال آبرسان CL و یا CL-ML است با $30<LL<35$ و $7<PI<15$.

در قسمتهایی که کانال برروی زمین طبیعی قرار گرفته، جنس بستر ML و یا SM بوده است. در مورد کانال P1، مصالح خاکریزی از جنس CL با 28<LL<40 و 9<PI<20 انتخاب شده و هر گاه کانال در بستر طبیعی قرار گرفته، جنس بستر ML شناسائی شده است.

۳- چگونگی ترکها

بطور خلاصه ترکها از نظر شکل ظاهری به گروههای زیر تقسیم می‌شوند:

اول ـ ترکهایی که می‌توان آنها را ترکهای مویی نامید و عموماً ناشی از انقباض بتن هستند. این گونه ترکها ممکن است در جهات و طولهای مختلف مشاهده شوند و اثری در نحوه عملکرد و کارآیی کانال ندارد (شکلهای ۱ و ۲).

دوم ـ ترکهایی که تا حدود ۱ سانتی متر باز شده و غالباً با سطح آب موازی هستند. این گونه ترکها مشروط بر آنکه بازتر نشوند و یا جابجایی دال در دو طرف ترک اتفاق نیفتد، عموماً با گل و لای و رسوبات آب پر می‌شوند و در کارآیی کانال موثر نیستند (شکلهای ۳ و۴).

سوم ـ ترکهایی که عموماً بیشتر از ۱ سانتی متر باز شده و غالباً با جابجایی و پله شدن دال در دو طرف خود همراه هستند. اکثـر این ترکها به موازات سطح آب و در رقـومهای مختلف در دالهای جانبی مشاهـده شده‌اند (شکلهای ۵ و۶).

در مورد خصوصیات ترکها نکات زیر حائز اهمیت است:

نخست آنکه ترکها (از هر گروه) در شرایط مختلف (چه خاکریز و چه بستر طبیعی) مشاهده شد، به طوریکه علت بروز آنها را نمی‌توان به قسمت خاکریز و یا به قسمت بستر نسبت داد.

دوم آنکه ترکها در دو طرف کانال همزمان و یا در یک طرف به تنهایی ظاهر شده و بروز آنها را نمی‌توان به طول خاصی از کانال با شرایط معین نسبت داد و یا شرایط یکی از دو طرف کانال را مسبب بروز ترکها دانست. کیفیت خاکریزی در طرفین کانال مشابه است و با شرایط یکسان اجرا شده است.

سوم آنکه هر چند ترکها عمدتاً پس از آبگیری و تخلیه مشاهده شدند، اما به مواردی نیز برخورد شد که ترکها قبل از شروع آبگیری ظاهر شده بودند. ترکها پس از آبگیری مجدد، به استثنای آنهایی که با گل و لای پر شده بودند و قابل بررسی نبودند، اغلب گشاد تر شده بودند.

۴- عوامل موثر

بروز ترکها می‌تواند به هر کدام و یا ترکیبی از عوامل زیر نسبت داده شود:

- بتن و تمام جزئیات مربوط به آن از جمله نحوه عمل آوری و مقاومت
- خاک و تمام جزئیات مربوط به آن از جمله تورم (Swelling)، رمبندگی (Collapsibility) و واگرایی (Dispersivity)
- طراحی و جزئیات طرح

- بهره‌برداری و جزئیات بهره‌برداری

برای شناسایی هر یک از موارد فوق، موضوع به شرح زیر دنبال شد:

۴-۱ بتن

هر چند خصوصیات بتن ریخته شده با کنترل ادواری آزمایشگاهی توأم بوده و تقریباً بدون استثناء کلیه موارد مورد تأیید قرار گرفته است، لیکن، به علت شرایط محیطی و گرمیسری منطقه، در مدت عمل‌آوری احتمال می‌رفت که صدماتی به بتن وارد شده باشد، لذا بررسی‌هایی بشرح زیر صورت گرفت:

۴-۱-۱ آزمایش چکش اشمیت (Rebound Hammer)

آزمایشهای چکش اشمیت برروی مناطقی در بالا و پایین ترکها به طور تصادفی انجام شد. برای هر محل آزمایش حداقل ۲۰ قرائت بدست آمد و سپس با میانگین‌گیری، برای هر منطقه آزمایشی یک عدد چکش ثبت شد و با استفاده از منحنی رابطه عدد چکش، مقاومت مکعب بتن بدست آمد.

از نظر آماری مقاومت میانگین حدود ۲۴۸ کیلوگرم بر سانتی متر مربع است و در صورتیکه قرار باشد فقط ۵ درصد نمونه‌ها دارای مقاومت کمتر از مقاومت مشخصه باشند، مقاومت مشخصه مکعب معادل ۱۷۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بدست می‌آید.

۴-۱-۲ مغزه گیری

نمونه‌هایی به قطر حدود ۲ اینچ از محلهای مختلف اخذ و پس از آماده سازی مورد آزمایش تک‌محوری قرار گرفتند. جهت تهیه نمونه‌ها از قطعات بزرگ بتنی که به منظور بتن ریزی مجدد تخریب شده بودند استفاده شد. از نظر تجزیه و تحلیل آماری، با رعایت ضریب ۱/۲۵ جهت تبدیل به مقاومت مکعب و ضریب ۱/۲ جهت تعدیل قطر، مقاومت میانگین حدود ۸۷ کیلوگرم بر سانتی متر مربع تعیین شد.

تناقض موجود بین نتایج آزمایش چکش اشمیت و آزمایش تک محوری بر روی مغزه‌های بتنی می‌تواند ناشی از ماهیت تقریب و تخمین آزمایش چکش (که کما بیش روشی کیفی است) و ماهیت نمونه‌های مغزه باشد که می‌تواند دلیل استفاده از قطعات تخریب شده، نمونه‌ها صحیح و سالم نبوده باشند.

۴-۱-۳ سایر موارد مربوط به بتن

با توجه به شکل شماره ۷ * ماهیت ترکهای مشاهده شده در دال کانالها غالباً از نوع مشخص شده تحت عنوان (I) است که کما بیش بموازات لبه‌های افقی کانالها قرار دارد. علت این گونه ترکها در مرجع اشاره شده، انقباض در اثر خشک شدن طولانی توصیف شده است. همینطور اشاره شده است که این پدیده معمولاً در دالها و دیوارهای نازک بروز می‌کند و هر چند علت اصلی آن در سازه‌ها اتصال‌های ضعیف

* ـ آسیب دیدگی‌های بتن، علل و عوامل آن، تهیه کننده، نرمین سید عسگری، انتشارات: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه شماره ۸۰، تهران ۱۳۶۶

عنوان شده، لیکن علل جنبی و ثانویه آن انقباض و عمل‌آوری غیر موثر ذکر شده است. جالب توجه است که زمان پدید آمدن این ترکها چند هفته یا چند ماه برآورد شده است. تقریباً کلیه این اوصاف با شرایط ملاحظه شده مطابقت دارد و بنابراین کیفیت و نحوه عمل آوری می‌تواند یکی از دلایل جدی در بروز ترکها در نظر گرفته شود.

۴-۲ خاک

از جسم خاکریز مجاور مقطع کانالها با بیل و کلنگ حفاری و نمونه‌برداری شد. در حین نمونه‌برداری، کیفیت خوب تراکم لایه‌ها که قبلاً توسط آزمایشگاه مکانیک خاک تأیید شده بود، مورد تأیید مجدد قرار گرفت. نمونه‌ها جهت شناسایی و طبقه بندی به آزمایشگاه ارسال شد و مطابق انتظار نتایجی مشابه نتایج گزارشهای قبلی آزمایشگاه مستقر در محل بدست آمد. با استفاده از اطلاعات مفصل و کاملی (از جمله خصوصیات تراکمی، رطوبت بهینه و غیره) که از طریق آزمایشگاه مستقر در محل پروژه در اختیار قرار گرفت، مقدمات انجام آزمایشهای زیر فراهم گردید:

۴-۲-۱ آزمایشهای آزمایشگاهی

نمونه‌های دست خورده براساس اطلاعات قبلی از آزمایشگاه مستقر در محل، در آزمایشگاه بازسازی (Remould) شدند و سپس دو گروه آزمایشهای رمبندگی (Collapsibility) و آماسی (Swelling) برروی آنها انجام شد. آزمایشها به ترتیب طبق استانداردهای ASTM D5333-92 و ASTM D4546-90(Method C) صورت گرفت. آزمایشهای مفصل دیگری نیز جهت بررسی پدیده واگرایی (Dispersivity) برروی نمونه‌ها انجام شد.

۴-۲-۱-۱ خصوصیات رمبندگی

نتایج آزمایش‌های رمبندگی دو نمونه، ضریب پتانسیل رمبندگی را ۱/۵ و ۲/۵ درصد نشان می‌دهد. این مقادیر دلالت بر پتانسیل جزئی رمبندگی دارد.

۴-۲-۱-۲ خصوصیات آماسی

با انجام دو آزمایش فشار تورمی‌به ترتیب ۰/۲ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و صفر بدست می‌آید که عملاً قابل توجه نمی‌باشد. در روش استفاده شده، مقدمتاً فشار جزئی ۰/۰۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع اعمال شده است و سپس با غرقاب کردن نمونه، تغییر شکل آن اندازه‌گیری شده است. در صورت تورم، با اعمال فشارهای بیشتر جلوی تورم گرفته می‌شود.

بااستفاده از منحنی‌های آماس اثر تورم در کنارههای کانال محاسبه و حداکثر آن ۳/۴ میلیمتر بدست آمد. ملاحظه می‌شود که مقدار تورم کل ناچیز است.

۴-۲-۱-۳ خصوصیات واگرایی

آزمایشهای سوراخ سوزنی (Pin hole)، هیدورمتر مضاعف، کرامپ و شیمیایی (شامل تعیین یونهای کلسیم، سدیم، پتانسیم و منیزیم) هیچکدام خصوصیات خاک را واگرا نشان ندادند.

۳-۴ طراحی

در طراحی کانالها، لایه نفوذپذیر و زهکش در زیر دال کانالها پیش‌بینی نشده است. کانالهای متعددی در این پروژه و در پروژه‌های دیگری نظیر کشت و صنعت نیشکر کارون، کشت و صنعت نیشکر شعیبیه و مقداری از کانالهای آب در آذربایجان غربی نیز بهمین شکل اجرا شده که دارای ترکهای مشابه می‌باشند. شاید علت این امر آنست که مشاورین مربوطه بطور سنتی طبق ضوابط U.S. Bureau of Reclamation در کتابهایی نظیر Linings for Irrigation Canals (USBR 1963) عمل می‌نمایند که متأسفانه در این مورد تاحدی مبهم به مطلب پرداخته است. صفحه ۳۱ این مرجع تحت عنوان زهکشهای تحتانی می‌نویسد "اغلب کانالها بقصد جلوگیری از نفوذ آب ساخته می‌شوند، پس مصالح زیر سازی معمولاً زهکش هستند." یا مثلاً عنوان می‌نماید که " وقتی کانال خالی است و یا وقتی سطح آب در کانال نسبتاً پایین است، اگر سطح آب زیر زمینی بالا باشد، فشار هیدرواستاتیکی از بیرون به پوشش کانال وارد می‌شود که با شناوری باعث صدمه به دال کانال می‌شود مگر اینکه زهکش‌های تحتانی جلوی آنرا بگیرند."

بطوریکه ملاحظه می‌شود، نقش زهکش‌های تحتانی فقط در شرایط تراز بالای آب زیر زمینی مطرح شده است و همینطور بطور ضمنی اشاره براین است که عموماً مصالح در تماس با کانال خود بخود زهکش هستند. بنابراین هر گاه سطح آب زیرزمینی در رقومی‌بالاتر از کف کانال مشاهده نشده باشد پیش‌بینی خاصی بعمل نمی‌آید. در مراجع متعدد دیگر اروپائی و آمریکایی نیاز به زهکشهای تحتانی و یا ایجاد و احداث لایه‌های زهکش بطور صریح و روشن مورد اشاره قرار گرفته است. از جمله می‌توان به کتاب Hydraulic Structures, By M.M Grishin, Mir Publishers اشاره کرد که در آن جزئیات لایه زهکش بطور تیپ و اصولی ارایه شده است.

به علت بالا نبودن سطح آب زیر زمینی در پروژه مورد نظر، زهکشهای تحتانی در نظر گرفته نشده، مضاعف بر اینکه خاکریزی‌ها دارای خاصیت زهکشی بسیار بسیار کم (خاکهای CL) و یا در مقایسه با ماسه‌ها و شن‌ها نسبتاً کم (خاکهای ML) بوده است. بنابراین، جهت کنترل رفتار آب در خاک، در مجاورت کانال آبرسان، جایی که حدود ۱۵ متر خاکریزی انجام شده است، پیزومترهایی نصب شد که تعدادی از آنها وجود سطح آب را در رقوم‌های حدود ۳۰-۱۵ سانتی متر از کف کانال نشان می‌دهند.

همین‌طور در پهلوی کانال‌ها و در جایی که خاکریزی وجود دارد، در قسمت پایینی شیب خاکریزی محلهای تجمع آب نیز مشاهده شد که مبین حرکت آب از داخل کانالها به بیرون است. در پروژه دیگری (شعیبیه) در هنگام خالی بودن کانالها، وجود سیلت فراوان در محل درزها در داخل کانال نشان دهنده حرکت آب از پشت کانال به داخل کانال و شسته شدن سیلت پشت کانال‌ها می‌باشد.

به علت مشاهدات فوق، مدل دال کانال در حالی که کانال خالی و در پشت آن (چه طبیعی و چه خاکریز) سطح آب وجود دارد مورد بررسی قرار گرفت. این مدل با مشاهدات در محل هماهنگ است زیرا:

- فشار هیدرواستاتیکی در پشت کانال عمل می‌نماید و برآیند نیروی فشاری در قسمت تحتانی دال قراردارد،
- قسمت فوقانی بعلت غوطه‌ور نبودن (سنگینتر بودن)، چسبندگی و اصطکاک دال با خاک پشت در جای خود باقی ماند،
- دال بصورت صفحه‌ای عمل می‌کند که دارای دو تکیه گاه است یکی در قسمت تحتانی (محل برآیند نیروی هیدرواستاتیکی) و یکی در قسمت فوقانی (عکس العمل خاک خشک) و عامل وزن دال می‌تواند باعث شکست دال شود.

۴-۳-۱ بررسی و آنالیز دال بتنی

دالها در دو تیپ با ضخامت ۸ و۱۲ سانتی متر اجرا شده‌اند. با در نظر گرفتن فشار هیدرواستاتیکی در پشت و وزن دال (کانال بدون آب) محل تنش برشی صفر (محل گشتاور حداکثر و یا نتیجتاً محل شکستن دال) طبق جدول زیر بدست آمد:

عمق خط اشباع از سطح زمین (m)	محل شکست صفحه از سطح زمین (m)	
	ضخامت دال	
	8cm	12cm
0	0.5	0.3
0.5	1.3	1.1
1.0	2.0	1.75*
1.5	2.65	
2.0	3.25*	

* عمق غیر واقعی است و فقط برای درون یابی ارایه شده است.

جدول فوق محل احتمالی بروز ترک را درکانالها نشان می‌دهد. در بررسی محل قرارگیری ترکها (بخصوص ترکهای گروه دوم) مشاهده شد که هر چند ترکها در کانالهای مختلف در ترازهای مختلفی بروز کرده‌اند اما در هر کانال برای مسیرهای طولانی تقریباً در یک رقوم مشخصی قرار دارند.

بررسی دیگری نیز بشرح زیر انجام شد:

ارتفاع و وزن دالهای جانبی درکانالهای مختلف طبق جدول زیر است:

کانال	آبرسان	P1 الف	P1 ب	P1 پ	P1 د
h ارتفاع (m)	3.1	2.35	1.8	1.4	0.95
Ws مولفه وزن دیواره در جهت عمود بر دیواره (ton)	1.34	1.02	0.8	0.4	0.3

برآیند نیروی آب (عمود بر دیواره) با در نظر گرفتن سطوح آب مختلف در کانالهای مختلف طبق جدول زیر تعیین شد:

عمق خط اشباع از سطح زمین (m)	برآیند نیروی آب، عمود بر دیواره (ton)				
	آبرسان	P1 الف	P1 ب	P1 پ	P1 د
0	8.7	5.0	2.9	1.8	0.8
0.5	6.0	3.1	1.5	0.7	0.2
1.0	4.0	1.6	0.6	0.2	--
1.5	2.3	0.7	--	--	--
2.0	1.1	--	--	--	--

بنابراین، بعنوان مثال، در کانال آبرسان، در صورتیکه کانال خالی باشد، با داشتن سطح آب پشت کانال در عمق ۱/۵ متر، نیروی آب ۲/۳ تن بر دالی که وزن آن ۱/۳۴ تن است عمل می‌نماید و بنابراین می‌تواند آنرا حرکت دهد و یا بشکند و یا در آن ایجاد ترک نماید. براین اساس، دالهای کانالهای مختلف، در شرایط وجود عمق آب در ترازهای بالاتر از مقادیر زیر (پشت کانالها) تعادل خود را از دست خواهند داد:

آبرسان ۱/۹۰ متر

P1 الف ۱/۳۲ متر

P1 ب ۰/۸۹ متر

P1 پ ۰/۸۰ متر

P1 د۰/۴۲ متر

۴-۴ بهره برداری

مسلماً در شرایط که در بند ۴-۳ (طراحی) عنوان شد، نحوه بهره‌برداری یا آبگیری که در شرایط عادی و وجود سیستم زهکش نیز همیشه با ظرافت توام است، اهمیت به مراتب بیشتری پیدا می‌کند.

قابل توجه است که اغلب ترکها پس از یک دوره آبگیری و سپس خشک کردن کانال بوجود آمده‌اند در چنین شرایطی لازم است پایین انداختن سطح آب در کانالها بطور کند و مرحله‌ای انجام شود، بطوریکه

سطح آب ایجاد شده در پشت کانال‌ها فرصت افت و هماهنگی با سطح آب داخل کانال را داشته باشد. این مطلب نه فقط در دوره‌های آزمایش کانال‌ها بلکه در سرتاسر دوران بهره‌برداری اهمیت ویژه‌ای دارد.

۵- نتیجه گیری

با توجه به آنچه گفته شده نتایج زیر بدست آمد:

– هر چند بروز برخی از ترکها می‌تواند ناشی از عمل آوری غیر اصولی و انقباض زیاد به علت شرایط محیطی منطقه باشد، لیکن این گونه ترکها عموماً در گروه اول (بند ۳) قرار می‌گیرند. مقاومت بتن که از طریق آزمایش چکش اشمیت و یا با مغزه‌گیری تعیین شده است، ضمن داشتن تناقض با یکدیگر، بهر حال بالا نیست و می‌تواند به عنوان عامل کمکی در بروز ترکهای گروه دوم یا سوم نقش داشته باشد، اما طبق نتایج دیگری که در زیر بحث می‌شود، به طور مطلق عامل بروز ترکها تشخیص داده نشد.

- آزمایشهای خاک هیچکدام رمبندگی، تورم و واگرایی نشان ندادند. پس از تخریب بعضی از دالها جهت بازسازی،حفره‌هایی مشابه آنچه در شکل‌های شماره ۸ و ۹ آمده است در خاکهای سیلتی (ML) مشاهده شد که بدواً تصور شد ناشی از خاصیت واگرایی خاکهای مصرفی در قسمت خاکریزی باشد که آزمایشها آنرا تأیید نکردند. این حفره‌ها فقط می‌توانند به پدیده Piping نسبت داده شوند.
- بنظر می‌رسد آنچه اتفاق افتاده، بشرح زیر باشد:

" با شروع آبگیری، تراز سطح آب در پشت روکش بتنی کانالها افزایش یافته و در تراز سطح آب داخل کانال قرار گرفته، زیرا درزهای انقباض کانالها غالباً خوب اجرا و یا ماستیک گذاری نشده، سبب نفوذ آب از داخل کانال می‌شوند. با خالی کردن کانال یا پایین آوردن سطح آب داخل کانال، اگر خاک پشت کانال رس و دارای نفوذ پذیری بسیار کم باشد، فشار هیدرواستاتیکی از بیرون به داخل به علت اختلاف ارتفاع آب در بیرون (که با زمان کوتاه پایین نمی‌آید) و داخل بروی دال عمل کرده و باعث جابجایی و ترک خوردگی دال می‌شود. در کانال پر از آب واقع در بستر سیلتی و نفوذپذیری نسبتاً بیشتر، فشار ستون آب سبب وقوع پدیده Piping می‌شود. این پدیده در بررسی کانال‌ها بخاطر وجود حفره‌ها در مناطق سیلتی مشاهده شد، چیزی که ممکن بود به واگرایی خاک نسبت داده شود. بهر حال، در صورت Piping نیز حرکت دال و یا ایجاد ترک پیش خواهد آمد."

- در حین بررسیها به نکته دیگری نیز برخورد شد و آن اینکه در مواردی (هر چند نه به تعداد خیلی زیاد) دالها بدون داشتن ترک بطور کامل از جا بلند شده بودند. آنچه در بالا نتیجه گیری شد می‌تواند این پدیده را نیز توجیه نماید.
- هر چند بررسی ترکها در کانال‌های آبرسان و P1 پس از آبگیری انجام شد، اما به علت آنکه ترکهایی نیز در کانالهای فرعی قبل از آبگیری مشاهده شده بود، آمار مفصلی از این گونه ترکها در تمام کانالها چه اصلی و چه فرعی تهیه شد. جدولهای ۱ و ۲ و برگهای ۱ و ۲ این آمار را ارائه

می‌نمایند. به طوریکه از جدول ۱ یا برگ ۱ (کانالها فرعی) ملاحظه می‌شود اولاً قبل از آبگیری حدود ۸۸ درصد دالها سالم بوده اند و ثانیاً بقیه ترکها همگی ترکهای انقباضی و از گروه اول (بند ۳) بوده و ثالثاً هیچگونه جابجایی در دالها مشاهده نشده است. بنابراین، تصور اینکه ترکها بدون آبگیری و بدون توجه به سطح آب پشت کانالها هم بروز کرده صحیح نیست و این گونه ترکها صرفاً به مسائل بتن و عمل آوری و غیره مربـــوط می‌شود. در مقایسه با ترکهای کانالهای فرعی، در کانالهای آبرسان و P1 ترکها از تمام گروههای سه‌گانه و بعضاً همراه با جابجایی دیده می‌شوند و ماهیت متفاوتی نسبت به ترکهای کانالهای فرعی دارند (جدول ۲ یا برگ ۲)

- در بعضی کانالها (از جمله در طول قابل ملاحظه ای از کانال P1 و همینطور کانالهای درجه دو) با وجود آبگیری و تخلیه بدفعات، هیچ گونه ترکی بروز نکرده است. این امر در بعضی موارد می‌تواند ناشی از ارتفاع کم کانالها (در نتیجه احتمال صدمه‌پذیری کمتر بعلت فشار هیدرواستاتیکی کمتر آب) و یا وجود مصالح درشت دانه تر و یا نفوذپذیرتر که همزمان با پایین افتادن سطح آب در داخل کانال به عمل زهکشی سریعتر کمک کرده اند، و یا توپوگرافی و شرایط فاصله آب زیر زمینی از سطح آب داخل کانال مربوط باشد.

۶- پیشنهاد

پیشنهاد می‌شود آبگیری و تخلیه کانالها در هر موقع، چه هنگام آبگیری آزمایشی یا در دوران بهره‌برداری به آرامی و کندی در مراحل و پله‌های مختلف انجام گیرد به طوریکه سطح آب در پشت کانالها فرصت لازم جهت افت و همسان شدن با سطح آب داخل کانال را داشته باشد.

لازم است در احداث کانالهای جدید، در خاک‌هـــای ریز دانه، ایجاد لایه زهکشی زیـــر روکش بتنی کانالها (حداقل در کف) مراعات گردد. تعبیه لایه زهکش بین روکش بتنی کانال و مصالح ریز دانه (بستر طبیعی یا خاکریز) در عملیات احداث کانالها بدون توجه به محل قرارگیری و یا عدم وجود سطح آب زیر زمینی ضروری و اجتناب ناپذیر است و بنابراین قویاً توصیه میشود.

اصلاح ترکهای جزیی می‌تواند با دستور العملهای متعارف صورت گیرد. بهر حال، پس از انجام اصلاحات جزیی (برای ترکهای گروه اول یا دوم) و اصلاحات کلی (برای گروه سوم که شامل تخریب کامل دال، ایجاد لایه زهکشی و ساخت مجدد دال می‌شود) آبگیری می‌تواند شروع شود و به علت ماهیت گل آلود آب مصرفی، کانالها بمرور بطور نسبی آب بندی می‌شوند و مشکلی نخواهند داشت. تخلیه یکسره و عجولانه کانالها توصیه نمی‌شود و در شرایط اجباری نیز بایستی توام با احتیاط، برنامه ریزی و حق المقدور طور بطئی صورت گیرد.

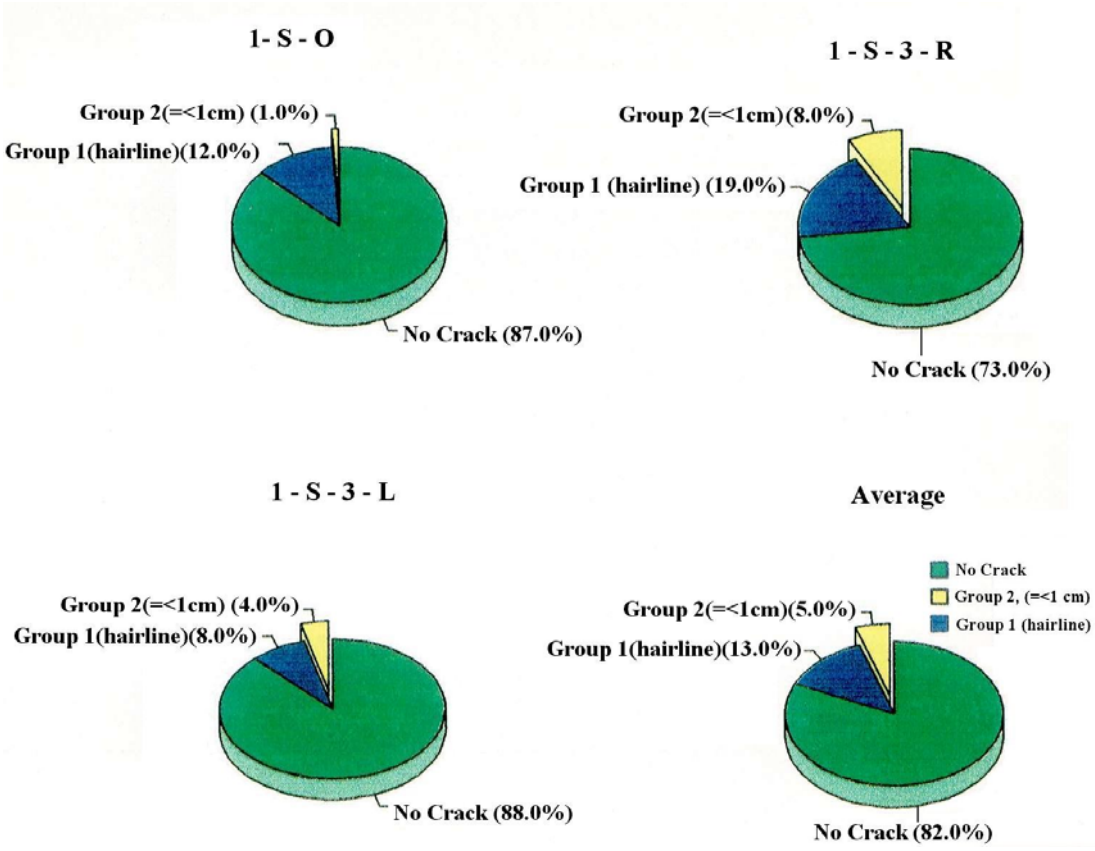
جدول ۱

کانالهای فرعی - پیش از آبگیری

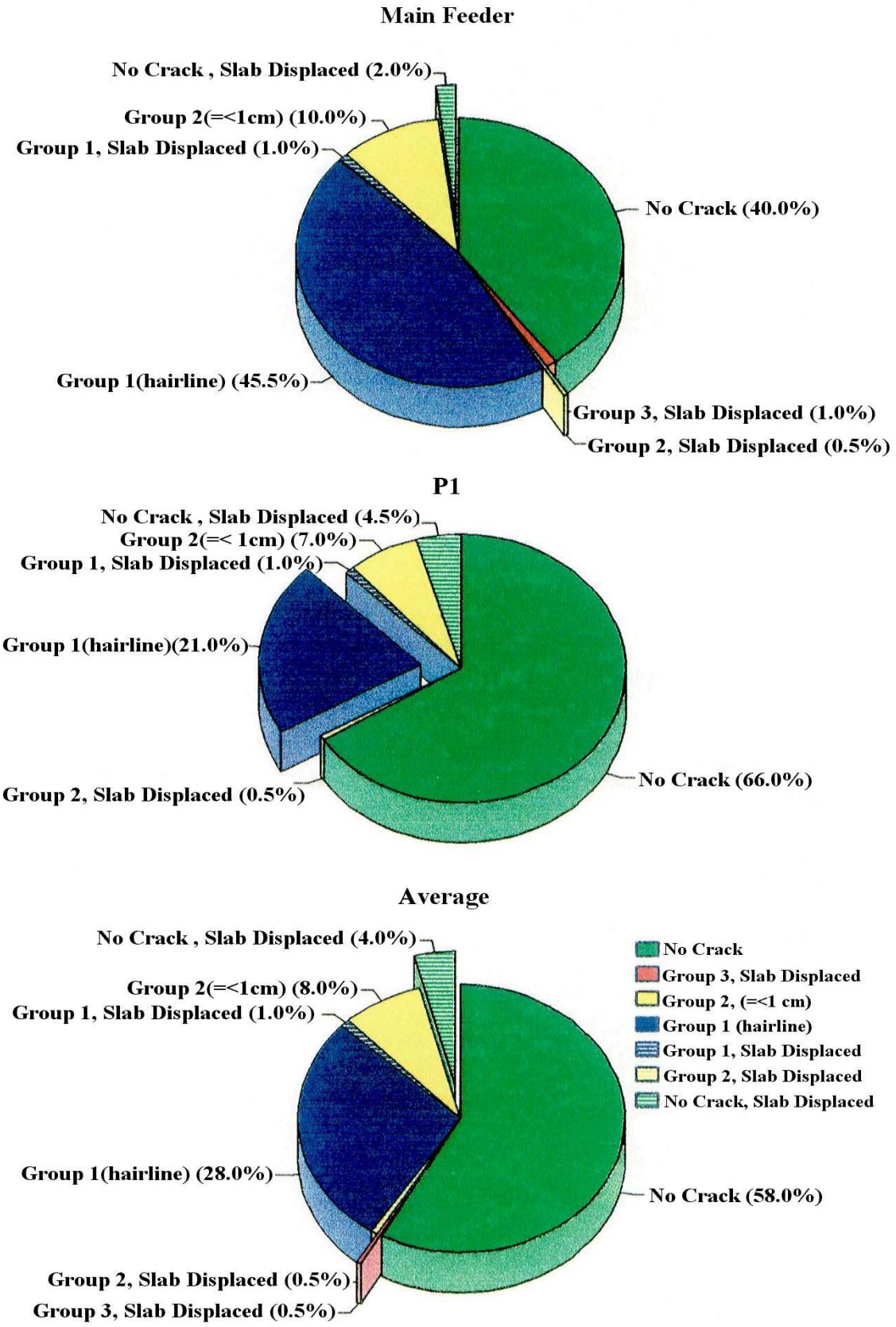
کانال	I-S-O			I-S-3-R			I-S-3-L			جمع کل کانالها
وضعیت دال	چپ	راست	جمع	چپ	راست	جمع	چپ	راست	جمع	جمع کل
	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد
کاملاً سالم بدون جابجائی	۱۰۰۰ ٪۸۶	۱۰۲۴ ٪۸۸	۲۰۲۴ ٪۸۷	۸۹۹ ٪۷۵	۸۵۳ ٪۷۱	۱۷۵۲ ٪۷۳	۹۰۹ ٪۸۷	۹۳۰ ٪۸۸	۱۸۳۹ ٪۸۸	۵۶۱۵ ٪۸۲
یک ترک مویی بدون جابجایی	۱۴۹ ٪۱۳	۱۱۶ ٪۱۰	۲۶۵ ٪۱۱	۱۹۰ ٪۱۶	۲۳۵ ٪۲۰	۴۲۵ ٪۱۸	۸۰ ٪۷	۷۳ ٪۷	۱۵۳ ٪۷	۸۴۳ ٪۱۲
یک ترک بازشده بدون جابجایی	۳ <٪۱	۱۰ ٪۱	۱۳ ٪۱	۷۴ ٪۶	۸۲ ٪۷	۱۵۶ ٪۷	۵۱ ٪۵	۳۶ ٪۳	۸۷ ٪۴	۲۵۶ ٪۴
بیش از یک ترک مویی بدون جابجایی	۲ <٪۱	۱۰ ٪۱	۱۲ ٪۱	۲۲ ٪۲	۱۳ ٪۱	۳۵ ٪۱	۸ <٪۱	۹ <٪۱	۱۷ <٪۱	۶۴ ٪۱
بیش از یک ترک بازشده بدون جابجایی	- -	- -	- -	۱۸ ٪۱	۱۸ ٪۱	۳۶ ٪۱	۲ <٪۱	۳ <٪۱	۵ <٪۱	۴۱ ٪۱
جمع تعداد دالها	۱۱۵۴	۱۱۶۰	۲۳۱۴	۱۲۰۳	۱۲۰۱	۲۴۰۴	۱۰۵۰	۱۰۵۱	۲۱۰۱	۶۸۱۹

جدول ۲
کانالهای اصلی - پس از آبگیری

کانال	آبرسان			P1			جمع کل کانالها
وضعیت دال	چپ	راست	جمع	چپ	راست	جمع	جمع
	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد
کاملاً سالم بدون جابجایی	۴۹۶ ٪۴۶	۳۶۹ ٪۳۴	۸۶۵ ٪۴۰	۱۷۰۳ ٪۶۸	۱۶۲۸ ٪۶۵	۳۳۳۱ ٪۶۶	۴۱۹۶ ٪۵۸
سالم - جابجا شده	۹ ٪۰/۸	۳۲ ٪۳	۴۱ ٪۱/۹	۱۳۸ ٪۵/۵	۸۳ ٪۳/۳	۲۲۲ ٪۴/۴	۲۶۳ ٪۳/۶
یک ترک مویی بدون جابجایی	۴۳۵ ٪۴۰	۴۱۲ ٪۳۸	۸۴۷ ٪۳۹	۳۵۱ ٪۱۴	۴۸۴ ٪۱۹/۳	۸۳۵ ٪۱۶/۶	۱۶۸۲ ٪۲۳/۴
یک ترک باز شده بدون جابجایی	۶۲ ٪۵/۷	۱۱۴ ٪۱/۵	۱۷۶ ٪۸	۱۵۹ ٪۶/۴	۱۰۷ ٪۴/۳	۲۶۶ ٪۵/۳	۴۴۲ ٪۶/۲
بیش از یک ترک مویی بدون جابجایی	۵۱ ٪۴/۷	۸۷ ٪۸	۱۳۸ ٪۶/۴	۶۷ ٪۲/۷	۱۴۲ ٪۵/۶	۲۰۹ ٪۴/۲	۳۴۷ ٪۴/۸
بیش از یک ترک باز شده بدون جابجایی	۸ ٪۰/۷	۳۸ ٪۳/۵	۴۶ ٪۲/۱	۳۷ ٪۱/۵	۳۶ ٪۱/۴	۷۳ ٪۱/۵	۱۱۹ ٪۱/۷
یک ترک مویی و و جابجا شده	۸ ٪۰/۷	۱۷ ٪۱/۶	۲۵ ٪۱/۲	۲۰ ٪۰/۸	۱۵ ٪۰/۶	۳۵ ٪۰/۶	۶۰ ٪۰/۸
یک ترک باز شده و جابجا شده	۳ ٪۰/۳	۷ ٪۰/۶	۱۰ ٪۰/۵	۱۴ ٪۰/۶	۷ ٪۰/۳	۲۱ ٪۰/۴	۳۱ ٪۰/۳
بیش از یک ترک مویی و جابجا شده	۰ ٪۰	۴ ٪۰/۴	۴ ٪۰/۲	۸ ٪۰/۳	۷ ٪۰/۳	۱۵ ٪۰/۳	۱۹ ٪۰/۳
بیش از یک ترک باز شده و جابجاشده	۱۲ ٪۱/۱	۴ ٪۴	۱۶ ٪۰/۷	۵ ٪۰/۲	۵ ٪۰/۲	۱۰ ٪۰/۰۲	۲۶ ٪۰/۴
جمع تعداد دالها	۱۰۸۴	۱۰۸۴	۲۱۶۸	۲۵۰۲	۲۵۱۴	۵۰۱۶	۷۱۸۴



برگ ۱ – کانال‌های فرعی پیش از آبگیری



برگ ۲ – کانال‌های آبرسان و P1

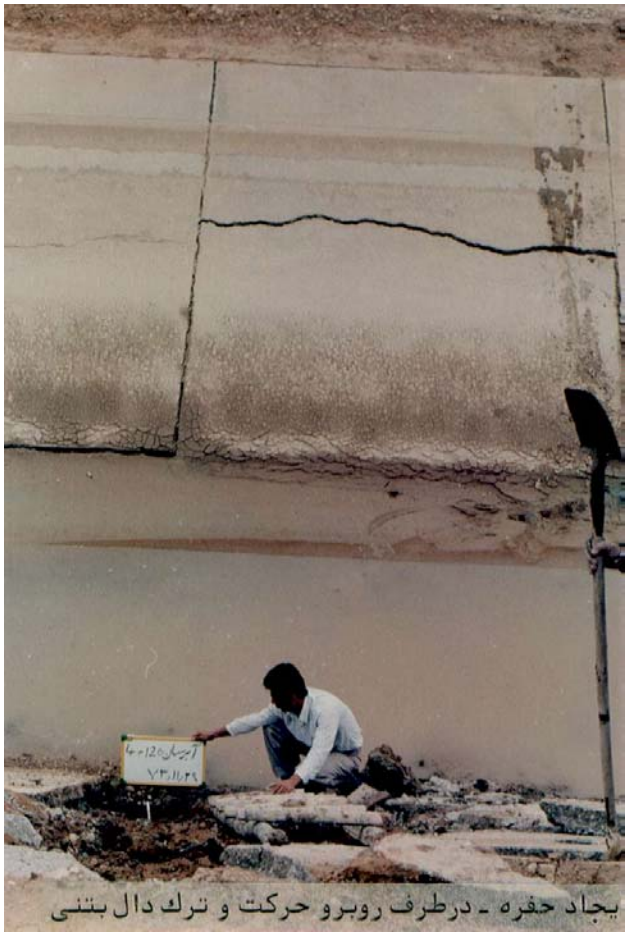
شکل شماره ۱ – ترک‌های مویی ناشی از انقباض بتن

شکل شماره ۲ – ترک‌های مویی ناشی از انقباض بتن

شکل شماره ۳ – ترک‌های موازی بدون جابجایی دال

شکل شماره ۴ – ترک‌های موازی بدون جابجایی دال

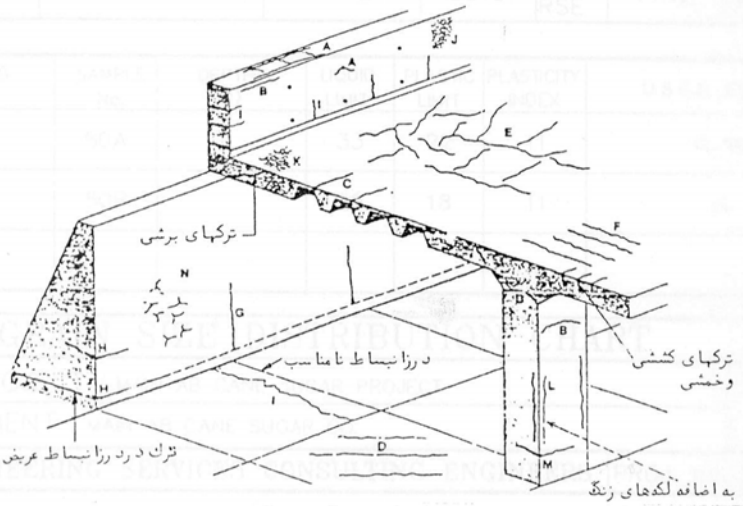
شکل شماره ۵ – ترک‌های بیش از ۲ سانتی متر با جابجایی و پله شدن دال



شکل شماره ۶ – ترک‌های بیش از ۲ سانتی متر با جابجایی و پله شدن دال

دسته‌بندی ترکهای طبیعی

انواع ترک‌خوردگی	علامتگذاری در شکل	تحت انواع ترک‌خوردگی	معمولی‌ترین محل ترک	علت اولیه	علل و عوامل ثانوی	پیشگیری (بافرض عدم امکان طراحی مجدد) درهمه‌موارد مانع کم شود	زمان پدید آمدن ترک
نشست پلاستیک	A	روی آرماتور	مقاطع عمیق	آب آوری زیاد (Bleeding)	شرایط خشک شدن اولیه سریع	کاهش آب آوری(بکار بردن موادحباب‌زا و لرزش مجدد)	ده دقیقه تا ۳ ساعت
	B	قوسی	در سرستون‌ها				
	C	تغییر عمق	دال‌های ناودانی				
افت پلاستیک (Shrinkage)	D	قطری	جاده‌ها و دالها	خشک شدن اولیه سریع	آب آوری کند	بهبود عمل‌آوری اولیه	نیم ساعت تا شش ساعت
	E	نامنظم	دالهای بتنی مسلح				
	F	روی آرماتور	دالهای بتنی مسلح	فولادنزدیک			
جمع شدگی (Cantraction)	G	مانع خارجی	دیوار ضخیم	حرارت دهی	خنک کردن سریع	کاهش حرارت یا عایقکاری	یک یادو روز یا سه هفته
اولیه داخلی	H	مانع داخلی	دالهای ضخیم	گرادیان حرارتی زیاد			
انقباض در اثر خشک شدن طولانی	I		دالها و دیوارهای نازک	اتصالهای ضعیف	انقباض زیاد و عمل‌آوری غیرموثر	کاهش مقدار آب بتن و بهبود عمل‌آوری	چند هفته یا چند ماه
چروکیدگی سطح بتن (Crazing)	J	در مقابل قالب	بتن باسطح خوب	قالبهای نفوذناپذیر	مخلوط غنی و عمل‌آوری ضعیف	بهبودعمل‌آوری و نازک کاری	یک تاهفت روز و گاهی خیلی دیرتر
	K	بتن شناور	دالها	ماله‌کشی اضافی			
خوردگی آرماتورها	L	طبیعی	ستونها و تیرها	فقدان پوشش	بتن با کیفیت بد	حذف علل ذکر شده	بیش ازدوسال
	M	کلرورکلسیم	بتن پیش ساخته	کلرورکلسیم اضافی			
واکنش‌قلیاییها با مصالح سنگی	N		محلهای خوب	مصالح‌سنگی‌فعال سیمان با محتوای قلیایی بالا		حذف علل ذکر شده	بیش از۵ سال



شکل شماره ۷ـ نمونه‌هایی از ترک‌خوردگی در سازه بتنی فرضی

شکل شماره ۸- حفره ناشی از Piping

شکل شماره ۹ - ایجاد حفره در اثر Piping و حرکت دال بتنی در روبرو