

## بررسی علل تخریب بتن در پوشش کانال‌های آبیاری

### (مطالعه موردی در دشت همدان - بهار)

رضا بهراملو\*

\* عضو هیئت علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان، نشانی: همدان، مرکز تحقیقات

کشاورزی و منابع طبیعی همدان، ص. پ. ۸۸۷-۶۵۱۵۵، تلفن: ۰۲۳۷۲۲۴۰ (۰۸۱۱)، پیام‌نگار: bahramloo@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۸۵/۶/۴؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۱/۲۵

#### چکیده

برای جلوگیری از تلفات آب در کانال‌های آبیاری و ارتقای راندمان انتقال و توزیع آب، اغلب از پوشش‌های بتنی استفاده می‌شود ولی در اکثر موارد، بتن به کار رفته در این پوشش‌ها پایایی لازم را ندارند و پس از گذشت مدت زمان کوتاهی از اجرای طرح، دچار ترک‌خوردگی و تخریب می‌شود. برای بررسی این موضوع، مطالعه موردی روی پوشش بتنی کانال‌های آبیاری دشت همدان - بهار انجام گردیده است. به همین منظور، پس از جمع‌آوری و بررسی اسناد و مدارک موجود و بازدید و از کانال‌های تخریب‌شده در منطقه، و مشاهدات عینی نمونه‌هایی تهیه شد. تعداد ۹ نمونه مغزه از پوشش بتنی، ۷۸ نمونه خاک بستر، و ۱۲ نمونه آب جاری در کانال‌های مذکور مورد آزمایش‌های مختلف قرار گرفتند. بر اساس مجموعه نتایج حاصل از بازدیدها و آزمایش‌ها، عوامل اصلی ترک‌خوردگی و تخریب پوشش بتنی کانال‌ها در قالب دو گروه عوامل داخلی شامل کرم‌بودن بتن، نفوذپذیری بالا، و مقاومت فشاری پایین و عوامل خارجی شامل ذوب و یخبندان متواتر و تغییرات دما، و همچنین مسائل طراحی و اجرا شناسایی شدند.

#### واژه‌های کلیدی

بتن، تخریب، ترک‌خوردگی، کانال‌های آبیاری

#### مقدمه

می‌دهد. بتن اجرا شده اگر پایایی کافی نداشته باشد، در مدت زمانی کوتاه طی فرایندهای مختلف فیزیکی، شیمیایی، و مکانیکی ناشی از عوامل داخلی، خارجی، و محیطی، دچار ترک‌خوردگی و تخریب می‌شود. این موضوع باعث شده تا مشکلات مربوط به طراحی، اجرا، و بهره‌برداری از سازه‌های بتنی در سراسر جهان تحت بررسی مستمر قرار گیرد و هر روز مطلب جدیدی در مورد آن ارائه شود. با بررسی فرایندهای طراحی سازه‌های بتنی، ساخت و کاربرد بتن، و نحوه بهره‌برداری و نگهداری از

بتن، یکی از مصالحی است که تولید و مصرف آن همگام با پیشرفت تکنولوژی، در پروژه‌های مختلف از قبیل ساختمان‌های مسکونی، سدها، نیروگاه‌ها، بنادر، پوشش کانال‌های آبیاری، و غیره رواج یافته است. در اغلب موارد، استفاده از مصالح دیگر به جای بتن در این پروژه‌ها از جنبه‌های اقتصادی و اجرائی ناممکن است. یکی از خصوصیات مهم بتن، پایایی آن است که میزان مقاومت بتن سخت‌شده را در مقابل هجوم مخرب‌های مختلف نشان

بتنی می‌دانند و مکانیزم فرسایش هر یک از تقسیم‌بندی‌های مذکور را تشریح می‌کنند.

قالیبافیان (Ghalibafian, 1990) در بررسی بهسازی سازه‌های بتنی نتیجه‌گیری می‌کند که این سازه‌ها ممکن است در اثر عوامل بیرونی نظیر خوردگی بتن با مواد شیمیایی مضر یا خوردگی آرماتور در سازه‌های مسلح به دلیل تمرکز یون کلر، عوامل درونی نظیر واکنش نامطلوب سنگدانه‌ها یا مواد قلیایی سیمان، و یا در اثر حوادث خارج از محدوده طراحی مثل زلزله‌های شدید و انفجار تخریب شود.

رمضانیانپور و پیدایش (Ramazanianpour & Peidaiesh, 1992) در بررسی علل تخریب سازه‌های بتنی در بوشهر گزارش دادند که بخشی از خرابی‌های بتن ناشی از ساخت و نگهداری ناصحیح در روزهای اول و بخش دیگر در اثر نفوذ مایعات و گازهای مضر به درون بتن است که اغلب باعث ایجاد ترکیبات شیمیایی مخرب می‌شود. آنها عوامل مخرب بتن را به دو دسته کلی یکی عوامل محیطی (فیزیکی، شیمیایی، و مکانیکی) و دیگری عوامل داخلی (نفوذپذیری، واکنش قلیایی سنگدانه‌ها، وجود املاح بیش از حد مجاز، و تغییر حجم) تقسیم می‌کنند.

وکیلی و رمضانیانپور (Vakili & Ramazanianpour, 1992) در بررسی علل خوردگی در سازه‌های بتنی تصفیه‌خانه‌های مرغزار سربندر نتیجه‌گیری کرده‌اند که بر اساس آزمایش‌ها و بررسی سوابق و کنترل محاسبات، طراحی، محاسبات سازه‌ای، کیفیت مصالح به کار رفته، و اجرای آنها خوب و به طور کلی بتن از کیفیت خوبی برخوردار بوده است و صدمات وارده به بتن عمدتاً ناشی از آب‌های زیرزمینی حاوی یون کلر بوده است و خاک اطراف نیز که حاوی درصد بالایی از کلروهای محلول بوده صدمات مشابهی را ایجاد کرده است.

هریک از این سازه‌ها، عوامل مخرب انواع سازه‌ها در مناطق مختلف نیز شناخته می‌شود و بر اساس آن راهکارهای مقابله با آنها قابل ارائه خواهد بود. یکی از سازه‌های دارای که حجم بالایی از بتن که در خیلی از موارد پس از اجرا با مشکل ترک‌خوردگی و تخریب مواجه می‌شود، پوشش بتنی کانال‌های آبیاری است. سید عسگری در بررسی آسیب‌دیدگی‌های بتن و عوامل ایجاد آن، عوامل مهاجم را به تاثیر مایعات، گازها، و جامدات نسبت داده است و آسیب‌دیدگی‌ها را به چهار نوع تقسیم‌بندی می‌کند: حل و شسته‌شدن خمیر بتن، واکنش‌های جابه‌جایی بین اجزای بتن، انبساط در ساختمان سیمان سخت‌شده، و سایر انواع (مانند واکنش مصالح سنگی با قلیایی‌ها و آسیب‌دیدگی‌های بیولوژیک) (Seiid Asgari, 1987).

رمضانیانپور و شاه‌نظری (Ramazanianpour & Shahnazari, 1988) خرابی‌های بتن را مربوط به ساخت و نگهداری ناصحیح و نفوذ مایعات و گازهای مضر بر بتن می‌داند که باعث ایجاد ترکیبات شیمیایی مخرب می‌شود. این محققان انواع تخریب بتن را به سه دسته تقسیم می‌کنند: تخریب در اثر زنگ‌زدن آرماتور که یون کلر عامل اصلی آن است، تخریب در اثر سولفات‌ها و متورم شدن بتن، و تخریب در اثر ترکیب قلیایی‌های سیمان و سیلیس برخی مواد سنگی بتن که به ندرت پدید می‌آید. آنها همچنین خرابی بتن سخت‌شده در اثر سیکل‌های مکرر ذوب و یخبندان در هوای سرد را به ترک‌های فرسایشی<sup>۱</sup>، پوسته‌شدن سطح بتن، تجزیه خمیر سیمان پرتلند، ترک‌خوردگی سطح گسترده<sup>۲</sup>، و بیرون‌پریدگی<sup>۳</sup> تقسیم می‌کند و سازه‌های آبی نظیر کانال‌ها را که امکان اشباع شدن آنها وجود دارد آسیب‌پذیرتر از سایر سازه‌های

1- D-Line Cracking

2- Pattern Cracking

3- Pop Out

بررسی علل تخریب بتن در پوشش کانال‌های ...

بررسی علل تخریب پوشش بتنی این کانال‌ها نتیجه‌گیری می‌کند که عامل اصلی تخریب، مقاومت فشاری پایین بتن اجراشده در پوشش در اثر عدم تراکم، کرم‌بودن، عمل‌آوری نامناسب، نفوذپذیری زیاد بتن، و ذوب و یخبندان‌های مکرر در اثر نوسانات دمایی است.

مهتا و گجورو (Mehta & Gjorv, 1974) جهت ارزیابی مقاومت بتن در مقابل سولفات، روشی را که بر اندازه‌گیری تغییرات مقاومت نمونه‌ها استوار است ابداع کردند. کاهش مقاومت فشاری نمونه‌ها ۲۸ روز بعد از قرار گرفتن در محلول سولفات به عنوان معیاری جهت تعیین مقاومت در مقابل سولفات نمونه‌ها به کار گرفته شد.

داتا و زارع (Datta & Zare, 1989) با بررسی دوام بتن در شرایط اقیانوس، در سازه‌های دریایی نظیر بنادر، اسکله‌ها، شمع‌ها، پل‌ها، سکوها و... نفوذپذیری بتن را عامل اصلی تمامی خرابی‌های بتن می‌دانند و نفوذپذیری را به دلیل وجود اندازه‌های مختلف درشت دانه‌ها و منافذ خمیر سیمان، جزء ذات بتن و وابسته به مقدار نفوذپذیری شن و ماسه و (بیشتر به) نفوذپذیری خمیر سیمان می‌دانند. این محققان عوامل تخریب را به دو دسته کلی عوامل داخلی و عوامل خارجی تقسیم و نتیجه‌گیری می‌کنند که عوامل داخلی شامل واکنش قلیایی شن و ماسه، اختلاف خواص حرارتی و تغییر حجم مصالح شن و ماسه و خمیر سیمان، و نفوذپذیری بتن هستند و عوامل خارجی را شامل فرسایش و خلع‌زایی، خشک و ترشدن متناوب، ذوب و یخبندان متوالی، ناسازگاری دمایی، تبلور نمک‌ها، واکنش کربنات‌های قلیایی، گلسنگ، و تجزیه الکتریکی بتن می‌دانند.

سایت اینترنتی بتن عوامل ترک‌خوردگی بتن را شامل آب‌مازاد در اختلاط بتن، خشک‌شدن سریع بتن (عمل‌آوری نامناسب)، مقاومت نامناسب بتن ریخته‌شده،

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی در نشریه شماره ۱۵۰ توصیه می‌کند که مقدار تری‌کلسیم‌آلومینات  $C_3A$  برای بتن‌هایی که در معرض خطر ملایم سولفات (۱۰۰۰-۱۵۰ قسمت در میلیون قسمت) قرار دارند نباید بیشتر از ۸ درصد و برای بتن‌هایی که در معرض خطر شدید سولفات (۱۰۰۰ قسمت در میلیون قسمت یا بیشتر) قرار دارند نباید بیشتر از ۵ درصد باشد (Anon, 1996).

رحیمی و آذین‌فر (Rahimi & Azinfar, 1999) در بررسی تخریب سازه‌های آبی در ارتباط با مقدار گچ می‌گویند این طور نیست که همیشه مقدار گچ در خاک با میزان تخریب ایجادشده در سازه ارتباط مستقیمی داشته باشد؛ وجود گچ در خاک به تنهایی نمی‌تواند در تعیین میزان تخریب سازه موثر باشد و باید نقش عوامل دیگر را نیز بررسی کرد.

گلابتونچی و طالبی (Golabtoonchi & Talebi, 2001) در بررسی علل ترک‌خوردگی در پوشش‌های بتنی کانال‌های آبیاری، عوامل اصلی شکستگی را تورم‌زایی، نشست، واگرایی، یخ‌زدگی، و تاثیر بارهای اضافه بر طراحی دانسته‌اند.

رحیمی و عباسی (Rahimi & Abbasi, 2002) در بررسی علل تخریب پوشش بتنی کانال اصلی آبیاری دشت ساوه گزارش می‌دهند که کانال مذکور در سال‌های اول بهره‌برداری تخریب شده است و چندین مرحله مرمت نیز موثر نبوده است. آنها دلیل تخریب کانال را مسائل طراحی، کیفیت اجرا، و به خصوص مشخصات ژئوتکنیکی بستر گزارش کرده‌اند.

بهراملو (Bahramloo, 2004) در بررسی مشکلات فنی کانال‌های آبیاری دشت همدان- بهار، نتیجه‌گیری می‌کند که یکی از مشکلات اساسی این کانال‌ها تخریب شدید پوشش بتنی است. این محقق (Bahramloo, 2006) در

در این باره و به منظور بررسی علل تخریب بتن در پوشش کانال‌های آبیاری، کانال‌های آبیاری دشت همدان - بهار به صورت موردی بررسی شده است.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش جهت بررسی علل تخریب پوشش بتنی کانال‌های آبیاری، به صورت موردی کانال‌های اصلی انتقال آب پایین‌دست سدهای انحرافی گنده‌جین، بهادر بیگ، آبرومند، و خوشاب‌علیا از دشت همدان - بهار به عنوان مواد اصلی پژوهش انتخاب شد. مشخصات عمومی کانال‌های مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

نبود درزهای کنترل، بتن‌ریزی در زمین یخ‌زده، و بتن‌ریزی بدون تراکم بستر دانسته است (Anon, 2006).

تریانتافیلیس در بررسی استفاده از نوعی بتن پیشرفته جدید<sup>۱</sup> که در ابتدای سال ۱۹۷۰ توسعه یافته است، گزارش می‌کند که این بتن یک نوع ملات پلاستیکی سیمان است که برای ترمیم و بازسازی به کار می‌رود. ملاتی آماده به مصرف به صورت پودر، بدون جمع‌شدگی، مقاوم در مقابل سولفات‌ها که می‌تواند با ملات پاش برای ترمیم یا بازسازی به کار رود. وی همچنین دو عامل محیطی بسیار رایج در ایتالیا (ذوب و یخبندان متوالی) و عامل شیمیایی سولفات‌ها، کلریدها، نمک‌های منیزیم، و روغن را عامل تخریب بتن دانسته است (Triantafyllis, 1990).

جدول ۱ - مشخصات عمومی کانال‌های آبیاری مورد بررسی

مقدار	نوع مشخصه
۳۴۲۰۰	وسعت اراضی (هکتار)
۲۰۰	طول کانال پوشش‌دار (کیلومتر)
۱	دبی متوسط کانال‌ها (متر مکعب بر ثانیه)
ذوزنقه	نوع مقطع
۰/۰۱۴	ضریب زبری مانینگ (n)
۱:۱/۵	شیب جانبی
بتن	نوع پوشش
۱۳۶۸-۷۷	سال اجرا

### بررسی اسناد و گزارش‌های موجود

در بررسی اسناد و مدارک طراحی، اجرا، و بهره‌برداری پارامترهایی از قبیل فرضیات طراحی، دبی طراحی کانال، طول کانال، سال اجرا، ابعاد هندسی، طرح اختلاط بتن، نوع سیمان، ضخامت پوشش، محل منابع قرضه، و نتایج آزمایش‌های انجام‌شده روی آنها بررسی شد.

روش اجرای این پژوهش شامل بررسی اسناد و مدارک طراحی و اجرا، بازدید عینی از کانال‌ها، تکمیل پرسشنامه در خصوص مسائل فرهنگی و اجتماعی بهره‌برداران، بررسی مشخصه‌های فنی و هیدرولیکی در طراحی و اجرا، بررسی وضع موجود پوشش‌ها، نمونه‌برداری از خاک بستر، بتن، و آب جاری در کانال و انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی است.

بررسی علل تخریب بتن در پوشش کانال‌های ...

۱۲ نمونه آب تهیه گردید. جدول ۲ موقعیت نقاط نمونه‌برداری در طول مسیر کانال در مناطق مورد بررسی را نشان می‌دهد.

### آزمایش‌های آزمایشگاهی

آزمایش‌های آزمایشگاهی شامل شناسایی فیزیکی، شیمیایی، و مکانیکی است که روی نمونه‌های خاک، بتن، و آب بر اساس استاندارد ASTM اجرا شده است.

برای تعیین مشخصات خاک بستر کانال‌ها و طبقه‌بندی آنها، آزمایش‌های فیزیکی شامل تعیین دانه‌بندی، وزن مخصوص، هدایت الکتریکی (EC)، حدود اتربرگ، اسیدیته (pH) و برای تعیین مشخصات شیمیایی و تعیین مقدار املاح مضر بر بتن در خاک، آزمایش‌های شیمیایی شامل تعیین مقدار کل املاح، یون سولفات، و درصد آهک روی نمونه‌های خاک اجرا گردید. با توجه به اینکه در بازدیدهای عینی از برخی از کانال‌های مورد مطالعه نشانه‌هایی از تورم‌پذیری خاک بستر مشاهده شد. روی نمونه‌های خاک بستر اخذشده با کمک دستگاه ادمتر آزمایش مکانیکی تورم‌پذیری نیز اجرا شد. مغزه‌های بتنی در آزمایشگاه بعد از برش<sup>۱</sup> و کپینگ<sup>۲</sup>، تعیین ابعاد شد و جهت تعیین مشخصات کیفی بتن، روی آنها آزمایش‌های تعیین وزن مخصوص، مقاومت فشاری، و درصد جذب آب اجرا شد. روی نمونه‌های آب نیز برای تعیین مقادیر pH و یون کلر به منظور مقایسه با مقادیر حداکثر مجاز در آب مصرفی در بتن آزمایش‌هایی اجرا گردید.

### بازدیدهای محلی و نمونه‌برداری

در بازدیدهای محلی، ابتدا پرسشنامه‌ای شامل سوالاتی برای آگاهی از وضع موجود سازه، ابعاد هندسی، مشخصات هیدرولیکی جریان، نحوه بهره‌برداری، و تعمیرات انجام یافته طراحی شد و همزمان با بازدید از طریق مصاحبه با بهره‌برداران محلی و کارشناسان دخیل در طراحی و اجرای کانال‌ها، تکمیل گردید. همزمان با تکمیل پرسشنامه، شکل ترک خوردگی و تخریب، ضخامت پوشش، تراکم بتن‌ریزی، کرم بودن، و نحوه ترکیب مصالح درشت دانه بتن در قطعات شکسته بتن مورد بررسی عینی قرار گرفت و بر اساس آن نوع آزمایش‌های ضروری و محل نمونه‌برداری از خاک بستر، پوشش بتنی، و آب جاری مشخص شد. برای نمونه‌گیری از خاک بستر، چاهک‌های شناسایی در ۳ نقطه از مسیر هر کانال و نزدیک به محل تخریب، به عمق ۱ تا ۲ متر حفر و از هر ۳۰ سانتی‌متر یک نمونه تهیه شد. همچنین بر اساس مشاهدات عینی قطعات شکسته، علائمی دال بر ضعف بتن و تاثیر عوامل درونی در تخریب مشخص شد و برای بررسی دقیق‌تر، در هر کانال حداقل ۲ نمونه نزدیک به محل تخریب شده (ولی از قسمت سالم بتن) طبق استاندارد ASTM:C42 و با استفاده از دستگاه مغزه‌گیر استوانه‌ای مدل T<sub>1</sub>-150EL تهیه شد. از آب جاری در کانال‌ها در زمان بتن‌ریزی نیز برای تهیه ترکیب بتن استفاده شده و از این رو از هر کانال ۳ نمونه آب جهت بررسی ترکیبات مضر بر بتن تهیه شد. بدین ترتیب در کل ۷۸ نمونه خاک، ۹ نمونه مغزه بتن و

جدول ۲- موقعیت و شماره نقاط نمونه برداری

محل های نمونه برداری												نوع
خوشاب علیا			آبرومند			بهداربیگ			گنده جین			نمونه
<i>TK12</i>	<i>TK11</i>	<i>TK10</i>	<i>TA9</i>	<i>TA8</i>	<i>TA7</i>	<i>TB6</i>	<i>TB5</i>	<i>TB4</i>	<i>TG3</i>	<i>TG2</i>	<i>TG1</i>	خاک
<i>WK12</i>	<i>WK11</i>	<i>WK10</i>	<i>WA9</i>	<i>WA8</i>	<i>WA7</i>	<i>WB6</i>	<i>WB5</i>	<i>WB4</i>	<i>WG3</i>	<i>WG2</i>	<i>WG1</i>	آب
-	<i>CK2</i>	<i>CK1</i>	-	<i>CA2</i>	<i>CA1</i>	-	<i>CB2</i>	<i>CB1</i>	<i>CG3</i>	<i>CG2</i>	<i>CG1</i>	بتن

### نتایج و بحث

نمونه‌های آزمایشگاهی استاندارد است، نمی‌توان انتظار داشت که هیچگونه افتی نباشد. انجمن بتن انگلستان افت ۵ تا ۷ درصد را در مقاومت بتن منطقی می‌داند (Ramazanianpour & Shahnazari, 1988). در حالی که در نمونه‌های اخذشده، افت در حدود ۷۵ درصد است. لذا یکی از عوامل اصلی تخریب بتن پوشش کانال‌ها در کل منطقه مقاومت فشاری بسیار پایین آن است.

مقادیر جرم مخصوص مغزه‌ها بین ۱۶/۷۷ تا ۲۰/۸۰، و به طور متوسط ۱۹/۶۲ کیلو نیوتن بر مترمکعب است. در بتن غیر مسلح با تراکم مناسب حداقل جرم مخصوص باید ۲۲/۶ کیلو نیوتن بر مترمکعب باشد، لذا نتایج بیانگر پوکی و کرم بودن بتن است. بررسی‌های عینی در قطعات شکسته بتن نیز این نتایج را تایید کرد. همان‌گونه که در شکل ۱ ارائه شده است، ترکیب سنگدانه‌ها و تراکم آنها بسیار نامناسب، میزان کرم بودن در آنها بالا، و در کل کیفیت بتن پایین است.

نتایج بررسی‌های عینی در محل و آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی، و مکانیکی روی نمونه‌های خاک، آب، و بتن استخراج و با مقادیر مجاز در آیین‌نامه بتن ایران و استانداردهای طراحی مقایسه شد و مورد بحث قرار گرفت.

### آزمایش‌های بتن

نتایج آزمایش‌های روی مغزه‌های بتنی در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج ارائه‌شده در این جدول نشان می‌دهد که نمونه‌های بتن مقاومت فشاری بسیار پایین و به طور متوسط ۶۷۶۸ کیلوپاسکال دارند. در حالی که بر اساس منابع حداقل مقاومت فشاری در نظر گرفته‌شده برای پوشش بتنی در شرایط یخ‌زدن و آب‌شدن برای جدول‌ها و آبروها و مقاطع نازک ۳۰ هزار کیلوپاسکال است. با توجه به اینکه عمل آوردن بتن در کارگاه در بهترین حالت نیز نامناسب‌تر از عمل‌آوری توصیه‌شده برای

جدول ۳- نتایج آزمایش‌ها بر روی مغزه‌های بتن

شماره مغزه	CG1	CG2	CG3	CB1	CB2	CA1	CA2	CK1	CK2	متوسط
جرم مخصوص (کیلونیوتن بر متر مکعب)	۱۶/۷۷	۱۹/۴۲	۱۹/۶۲	۱۹/۸۲	۲۰/۸۰	۱۹/۴۲	۱۹/۸۲	۱۹/۸۲	۲۰/۲۰	۱۹/۶۲
جذب آب (درصد)	۱۰/۷	۹/۴	۷/۵	۹/۲	۷/۸	۶/۱	۱/۶	۶/۳	۵/۹	۷/۲
مقاومت فشاری	۵۱۹۹	۵۹۸۴	۷۲۵۹	۶۳۷۶	۵۳۹۶	۱۱۰۸۵	۴۱۲۰	۸۴۳۶	۸۴۳۶	۶۷۶۸



شکل ۱- وضعیت ترکیب مصالح و تراکم بتن در منطقه

در آن با تاثیر این عوامل ثانویه تشدید می‌شود. لذا یکی از عوامل اصلی تخریب در کل منطقه کیفیت پایین، پوکی، و نفوذپذیری زیاد است که به مقاومت فشاری بسیار پایین در بتن انجامیده است. میزان جذب آب در مغزه‌ها بین ۱/۶ تا ۱۰/۷ و به طور متوسط ۷/۲ درصد است و این پارامتر در منابع برای بتن‌های معمولی ۵ تا ۱۰ درصد قابل قبول گزارش شده است (Ramazanianpour & Shahnazari, 1998). علی‌رغم اینکه در بتنی با تراکم نامناسب انتظار می‌رود درصد جذب آب بالا باشد ولی این مقدار در نمونه‌های مورد آزمایش در حد معمول بود و بالا نیست. این مسئله به دلیل کرم بودن و نفوذپذیری بالا و ناتوانی در حفظ آب نفوذ یافته، بعد از خروج از آب است. به دلیل سردسیری بودن منطقه و تغییرات شدید دما در فصل‌های مختلف، یخ‌زدن و ذوب‌شدگی<sup>۱</sup> متواتر اتفاق افتاده و این

یکی از دلایل پوکی این بتن‌ها، آب مازاد در اختلاط بتن بوده است. در جدول ۳-۳-۳-۲ آیین‌نامه بتن ایران حداکثر نسبت آب به سیمان در مقاطع نازک و کانال‌های انتقال آب و بتنی، که در معرض یخ‌زدن و آب‌شدن قرار دارند، ۰/۴۵ توصیه شده است، در حالی که بر اساس گزارش‌های موجود و مذاکره با مجریان طرح این نسبت در بتن‌های اجرا شده بیشتر از ۰/۵ بوده است. یکی دیگر از دلایل پوکی، عمل‌آوری نامناسب بتن است. بر اساس بررسی‌ها و بازدیدها، بتن حداکثر تا ۴۸ ساعت بعد از بتن‌ریزی در شرایط مرطوب قرار گرفته است در حالی که طبق بند ۱-۵-۵ آیین‌نامه بتن ایران، بتن باید بعد از بتن‌ریزی حداقل ۷ روز در دمای بیشتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد و در شرایط مرطوب نگه داشته شود. بدیهی است بتنی که شرایط آیین‌نامه را نداشته باشد در مقابل نفوذ مایعات و گازهای مضر مقاومت پایینی دارد و تخریب

1- Freezing and Thawing

خاک، درصد کل املاح، و درصد سولفات، اسیدیته عصاره اشباع، حدود آتربرگ، و درصد آهک، نشان می‌دهد که در خاک بستر کانال‌ها، پارامترها در حد مجاز بوده و برای بتن مشکل‌ساز نبوده است. طبق آزمایش تورم‌پذیری خاک، مقدار تورم‌پذیری کلیه نمونه‌ها بین صفر تا ۵ درصد در نوسان بوده است. بر اساس روش استرالیایی در تقسیم‌بندی پتانسیل تورم‌پذیری خاک‌ها، کلیه نمونه‌ها یا خاک بستر کلیه کانال‌های مورد بررسی تورم‌پذیری پایین دارند (Asgari & Fakher, 1994). بر اساس پارامترهای شاخص خمیرایی (Rahimi, 2000)، میزان تورم‌پذیری نمونه‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس این دسته‌بندی، تنها در یک مورد از نمونه‌های خاک (۱/۲) درصد از کل)، مربوط به چاهک وسط کانال آبرومند، تورم‌پذیری زیاد تا خیلی زیاد بوده است؛ ۱۷ نمونه (۲۲ درصد) تورم‌پذیری متوسط داشته که ۹ مورد از آن از ابتدای کانال آبرومند و ۸ مورد دیگر از نقاط مختلف کانال خوشاب علیاست. منحنی‌های دانه‌بندی مربوط به نمونه‌های خاک تورم‌پذیر در شکل ۲ ارائه شده است. نمونه‌های باقیمانده مربوط به کانال‌های گنده‌جین و بهادریگ بودند اما تورم‌پذیر نبودند و یا تورم‌پذیریشان پایین بود. در کل، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در این کانال‌ها تورم‌پذیری خاک در تخریب بتن تاثیری نداشته است.

مقدار معمول جذب آب که در شرایط اشباع بیشتر هم می‌شود، از عوامل تخریب بوده است. بدین ترتیب که آب بارندگی یا آب جاری در کانال به راحتی وارد منافذ می‌شود و پس از یخ‌زدن ازدیاد حجم پیدا می‌کند و با ایجاد فشار درونی و تکرار این عمل با توجه به نوسانات دمایی سالیانه، سبب ترک‌خوردگی و تخریب بتن شده است.

### تجزیه شیمیایی آب جاری در کانال

نتایج تجزیه شیمیایی آب جاری در کانال‌ها نشان می‌دهد که مقدار pH آن بین ۸/۱۱ تا ۹/۴۷ و به طور متوسط ۸/۶ است که در تخریب بتن از لحاظ حمله اسیدی تأثیری نداشته است زیرا حملات اسیدی وقتی اتفاق می‌افتد که pH کمتر از ۶/۵ باشد (Ramazanianpour & Shahnazari, 1988). مقدار کلر هم حداکثر ۱/۶ میلی‌اکی‌والان است؛ این مقدار کلر از عوامل مخرب به حساب نمی‌آید زیرا حداکثر مقدار مجاز کلر در جدول ۳-۵-۱-۱ آیین‌نامه بتن ایران برای بتن بدون آرماتور ۲۸۱/۷ میلی‌اکی‌والان اعلام شده است.

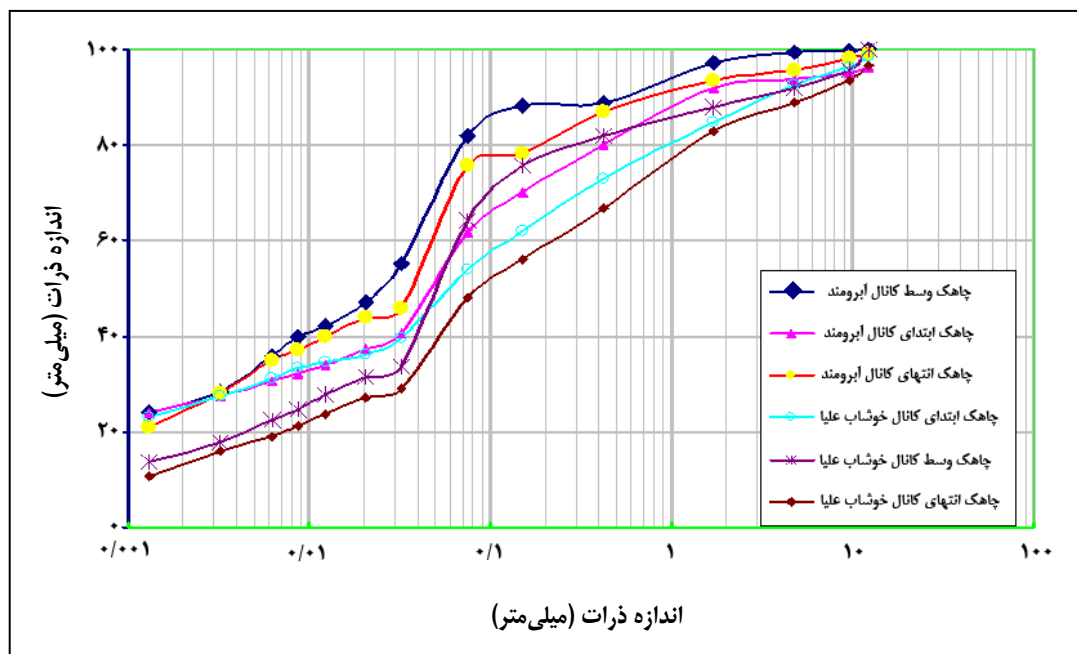
### آزمایش‌های خاک

نتایج آزمایش‌های مختلف ارائه شده در قسمت مواد و روش‌ها روی نمونه‌های خاک، شامل آزمایش تعیین بافت

جدول ۴- تقسیم‌بندی تورم‌پذیری نمونه‌ها بر اساس شاخص خمیرایی (Rahimi, 2001)

میزان تورم‌پذیری	شاخص خمیرایی	تعداد نمونه	درصد از کل نمونه‌ها
بدون تورم	کمتر از ۱۰	۲۹	۳۷/۱
کم	۱۵-۱۰	۳۱	۳۹/۷
متوسط	۱۵-۳۰	۱۷	۲۲
زیاد تا خیلی زیاد	بیشتر از ۳۰	۱	۱/۲





شکل ۲- منحنی دانه‌بندی نمونه‌های تورم‌پذیر

اسیدی مضر برای سازه‌های بتنی وجود نداشته و بدین ترتیب عامل مخرب حملات اسیدی خاک در این مناطق از عوامل مؤثر در تخریب بتن کانال‌ها نبوده است.

### نتیجه‌گیری

با توجه به مجموعه بررسی‌ها و نتایج آزمایش‌ها، عوامل تخریب بتن در منطقه مورد بررسی در قالب عوامل داخلی، محیطی، و همچنین مسائل مربوط به طراحی و اجرا تفسیر گردیدند. مقاومت فشاری پایین، پوکی، ترکیب نامناسب درشت دانه‌ها، و ضخامت کم در پوشش بتنی از عوامل داخلی تشخیص داده شدند. تورم‌زایی خاک و ذوب و یخبندان‌های مکرر در اثر تغییرات دما از عوامل محیطی و اقلیمی مؤثر در تخریب پوشش بتنی کانال‌های آبیاری منطقه شناسایی شدند. اجرانشدن مطالعات ژئوتکنیک بستر و آزمایش‌های ضروری روی مصالح و آزمایش‌های خاص بر

مقادیر سولفات در عصاره اشباع کلیه نمونه‌های خاک کمتر از ۰/۱ درصد بوده است. طبق جدول ۳-۵-۴ آیین‌نامه ۸۳-۳۱۸-۸۳ ACI مقدار سولفات در محدوده ۰/۲ تا ۲ درصد (Vakili & Ramazanianpour, 1992) و همچنین بر اساس جدول ۳-۳-۳-۶ در آیین‌نامه بتن ایران مقدار کل سولفات (SO<sub>3</sub>) در خاک بین ۰/۵ تا ۱ درصد نشان‌دهنده محیط شدیداً سولفاته است (Anon, 1992). لذا کل خاک‌های مناطق مورد بررسی عاری از میزان سولفات مؤثر در تخریب بتن بوده‌اند و عامل مخرب سولفات خاک در هیچ یک از مناطق تاثیرگذار نبوده است. در کلیه نمونه‌ها، عصاره اشباع خاک بستر دارای pH بالای ۷ (قلیایی) بوده است. حملات اسیدی وقتی اتفاق می‌افتد که pH کمتر از ۶/۵ باشد و در حالتی که مقدار آن به کمتر از ۴/۵ برسد حمله شدید اسیدی رخ خواهد داد (Ramazanianpour & Shahnazari, 1988) لذا هیچ عامل

اساس اقلیم منطقه مثل آزمایش دوام و مقاومت در برابر نفوذ بتن، آب مازاد در اختلاط بتن، ترکیب نامناسب سنگدانه‌ها، عمل‌آوری نامناسب، و کیفیت پایین بتن، و ناکافی بودن ضخامت پوشش از مسائل طراحی و اجرای موثر در تخریب پوشش بتنی کانال‌های آبیاری منطقه بودند. توصیه می‌شود در صورتی که گزینه تعمیر قسمت‌های تخریب‌شده از نظر اقتصادی و فنی برتر باشد، ترک‌های

باریک با مواد اپوکسی<sup>۱</sup>، سطوح تخریب‌شده وسیع‌تر با بتن‌پاشی<sup>۲</sup>، و ترک‌های زیاد در سطح بتن با یکی از روش‌های بخیه‌زنی<sup>۳</sup>، تنیدن<sup>۴</sup>، درزگیری<sup>۵</sup>، پوشش<sup>۶</sup>، یا جایگزین‌سازی<sup>۷</sup> (بسته به موقعیت) ترمیم شود. طرح‌های پژوهشی تکمیلی جهت تعیین روش ترمیم قسمت‌های تخریب‌شده، پوشش مناسب جایگزین بتن، شرایط پایانی بتن در منطقه ضروری است.

## مراجع

- Anon. 1992. Iranian Concrete Issue (ICI). Plan and Budget Organization. No. 120. (in Farsi)
- Anon. 1996. Plan and Budget Organization. Concrete Structures of Environmental Engineering (Translated of ACI 350R-89), Examination of Water Stopping in Reinforced Concrete Structures. No. 150. (in Farsi)
- Anon. 2006. Available on the: <http://www.concrete>.
- Asgari, F. and Fakher, A. 1994. Swelling and Dispersive of Soils from Geotechnical Engineer Point of View. Jihad-e-University. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Bahramloo, R. 2004. Evaluation of technical and operation management problems of irrigation canals in Hamedan-Bahar plain. Research Report. No. 1156. Hamedan Agricultural Research Center. (in Farsi)
- Bahramloo, R. 2006. Study of failure factors in concrete lining of irrigation canals in Haamedan-Bahar plain. Research Report. No. 950. Agricultural Engineering Research Institute. (in Farsi)
- Dtta, T. K. and Kamal, Z. 1989. Durability of concrete in ocean environment. Proceedings of the First Seminar on the Role of Admixtures in the Development of Concrete Technology. May. 9-10. Iran.
- Ghalibafian, M. 1990. Correction of reinforced concrete structures and transformations of time function. International Conference of Concrete. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Golabtoonchi, E. and Talebi, S. 2001. Many factors of cracking in lining of irrigation canals. Workshop in Construction of Irrigation Canals, Limitations and Solutions. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. No. 39. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Mehta, P. K. and Gjorv, O. E. A. 1974. New test for sulphate resistance of cements. J. Testing Evaluation. ASTM. 12(6): 15-31.

1- Crack Injection  
5- Caulking

2- Shotcreting  
6- Coating

3- Stitching  
7- Conventional Replacement Using Plastic Materials

4- Stressing

بررسی علل تخریب بتن در پوشش کانال‌های ...

- Rahimi, H. 2001. Problems of irrigation canals construction in difficulty soils. Workshop in Construction of Irrigation Canals, Limitations and Solutions. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. No. 39. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Rahimi, H. and Abbasi, N. 2002. Failure of irrigation canal lining on sandy soils (A case study, Saveh irrigation network). Iranian J. of Agric. Sci. 33(4): 42-58. (in Farsi)
- Rahimi, H. and Azinfar, H. 1998. Evaluation of failure in hydraulic structures related with sulfates type. Research Report. No. 113. Agricultural Engineering Research Institute. (in Farsi)
- Ramazanianpour, A. A. and Peidaiesh, M. 1992. Problems of concrete structurals in warm corrosive climates (Persian Golf). International Conference of Concrete. Nov. 10-12. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Ramazanianpour, A. A. and Shahnazari, M. R. (Translated). 1988. Concrete Technology. University of Science and Industry. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Seiied Asgari, N. 1987. Damages of Concrete and its Reasons. Ministry of Housing and City Building. Research Center of Building and Dwelling. (in Farsi)
- Triantafillis. A. 1990. Repair and restoration of damaged reinforced concrete structures with EMACO. International Conference of Concrete. University of Tehran. Tehran. Iran.
- Vakili, M. B. and Ramazanianpour, A. A. 1992. Study of erosion factors in concrete structures of filter stations of Marghzar and Sarbandar. International Conference of Concrete. Nov. 10-12. Tehran. Iran.



## Study of Failure Factors in Concrete Lining of Irrigation Canals in Hamedan-Bahar Plain

R. Bahramloo\*

\* Corresponding Author: Academic Member, Agricultural Engineering Research Department, Agricultural and Natural Resources Research Center, P.O.Box: 65155-887, Hamedan, Iran. E-mail: bahramloo@yahoo.com

Concrete is one of the most important construction materials widely using in hydraulic structures, such as lining of irrigation canals. Concrete durability might be decreased due to the environmental or inner factors with physical, chemical or mechanical reactions. Since, the climatologically condition is variable in most part of the country, local studies are needed to evaluate of the weakness and straight of the different concrete component for a given climate. Therefore even though a large expense is used for lining of irrigation canals, most of these projects have low conveyance and distribution efficiency. This study was conducted for evaluation of failure factors in applied concrete lining in irrigation canals of Hamadan-Bahar plain. The main issue in irrigation canals of the mentioned plain has been destruction of lining, which appeared as cracks and destruction in concrete linings. The main purpose of this research was determination of effective factors for destruction of irrigation canals in four different locations namely, Gondehjin, Bahadorbeig, Abroomand and khooshabe Olia. The data collection were include samples of concrete linings, inflow water in canals and bed soil of lining. Totally, 9 samples of concrete, 12 of water and 78 of bed soil were collected. The samples were tested based on standard methods of *ASTM* and the results were compared with the primary documentations on design and performance of each irrigation canals as well as Iranian Concrete Code and ACI. According to results, the main causes of cracking and destructing of concrete lining of irrigation canals were: (i) the factors that related to concrete preparation (inner factors) such as improper vibration, wormy holes and low compressive strength, (ii) environmental factors such as temperature variation and freezing and thawing.

**Key words:** Concrete, Cracking, Failure, Irrigation Canals