

کاربرد روش غیر مخرب مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای ونر در تعیین کیفیت پوشش بتنی کانال‌های آبیاری

رضا بهراملو^{۱*}، قاسم اسدیان^۲ و ابوالفضل ناصری^۳

۱- استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، همدان، ایران
۲- استادیار بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، همدان، ایران
۳- دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، تبریز، ایران
تاریخ دریافت: ۹۹/۳/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۸/۱۱

چکیده

برای جلوگیری از تلفات نشت آب در کانال‌های آبیاری، اغلب با استفاده از مصالح بتنی جداره و بستر آنها پوشش داده می‌شود. برای تعیین کیفیت پوشش بتنی اجرا شده در این کانال‌ها، اغلب از روش مخرب مغزه‌گیری و آزمایش مستقیم روی آنها استفاده می‌شود. این روش بسیار پرهزینه و زمان بر است و نیاز به نیروی انسانی متخصص و تجهیزات خاص دارد. ضمن اینکه آثار تخریب ناشی از مغزه‌گیری هم به سادگی قابل جبران نیست و منجر به تلفات آب از این محل‌ها خواهد شد. در این پژوهش به منظور برقراری رابطه بین روش غیر مخرب مقاومت الکتریکی در صحرا و روش مخرب مغزه‌گیری، ۱۳ مقطع طولی از ۷ مورد کانال اصلی از کانال‌های انتقال آب آبیاری در حوضه‌های مطالعاتی استان همدان انتخاب و بررسی شد. برای این منظور در هر مقطع کانال آزمایش صحرائی غیر مخرب مقاومت الکتریکی به روش چهار نقطه‌ای ونر با ۳ تکرار اجرا شد. برای بررسی رابطه نتایج آزمایش غیر مخرب مقاومت الکتریکی با پارامترهای فنی پوشش بتنی، از هر یک از مقاطع آزمایش شده فوق ۱۲ مغزه و در ۱۳ مقطع انتخاب شده ۱۵۶ مغزه بتنی تهیه شد. در آزمایشگاه، آزمایش مقاومت فشاری، جذب آب اولیه، جذب آب جوشیده و موینه روی مغزه‌های بتنی اجرا و روابط بین داده‌های آزمایش غیرمخرب مقاومت الکتریکی با مقادیر هریک از پارامترهای حاصل از آزمایش‌های آزمایشگاهی بررسی شد. بر اساس نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها، مشخص شد بین مقادیر آزمایش غیر مخرب مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای ونر در صحرا و مقادیر آزمایشگاهی مقاومت فشاری مغزه‌های تهیه شده از آن نقاط به روش مخرب، رابطه‌ی مستقیمی با ضریب همبستگی ۸۷ درصد برقرار است. نتایج بررسی رابطه بین مقادیر مقاومت الکتریکی صحرائی با مقادیر پارامترهای جذب آب مغزه‌های بتنی تهیه شده از آن نقاط، بیانگر آن است که پارامترهای جذب آب اولیه، جذب آب جوشیده و موینه نیز با ضریب همبستگی به ترتیب ۸۷، ۸۹ و ۸۶ درصد، رابطه غیرمستقیم‌نمایی با مقادیر مقاومت الکتریکی دارند. آزمایش مقاومت الکتریکی ونر آزمایشی غیر مخرب و بسیار کم‌هزینه و اجرای آن به سادگی امکان‌پذیر است. با توجه به روابط همبستگی حاصل شده می‌توان بدون آزمایش مخرب و پرهزینه مغزه‌گیری، پارامترهای مقاومت فشاری و برخی از پارامترهای جذب آب شامل جذب آب اولیه، جذب آب جوشیده و موینه را با پرداختن به آزمایش صحرائی غیرمخرب مقاومت الکتریکی در حد قابل قبولی برآورد کرد.

واژه‌های کلیدی

ارزیابی، پوشش بتنی، جذب آب، مقاومت فشاری، مقاومت الکتریکی ونر، همبستگی

مقدمه

هر نوع پروژه عمرانی در حین اجرا یا پس از آن اغلب ضروری است برای بررسی میزان انطباق آن با معیارهای طراحی و اهداف پروژه ارزیابی و در خصوص کیفیت اجرا اظهار نظر شود. برای این

متخصصان این امکان را می‌دهد تا در خصوص عملکرد، نیازها و روش‌های تعمیرات و بازسازی سازه‌های بتنی قضاوت و تصمیم‌گیری کنند (Bahramloo et al., 2019).

برای جلوگیری از تلفات نشت آب در کانال‌های آبیاری، در اکثر موارد بستر آنها با مصالح بتنی پوشش داده می‌شود (Siahi et al., 2011) و به روش مستقیم مغزه‌گیری ارزیابی می‌گردد که این کار علاوه بر هزینه‌بر و زمان‌بر بودن، آب‌بندی کامل محل‌های مغزه‌گیری را ناممکن می‌کند. در این تحقیق رابطه بین روش‌های آزمایش مخرب مغزه‌گیری و غیر مخرب (مقاومت الکتریکی چهار نقطه ای ونر)^۳ در پوشش بتنی کانال‌های آبیاری مناطق سردسیر و در معرض یخبندان بررسی شده تا در صورت دستیابی به رابطه قابل قبول بتوان روش ارزیابی غیر مخرب را به‌جای روش مخرب مغزه‌گیری در این سازه به‌کارگرفت و از تلفات آب و سرمایه و زمان جلوگیری کرد. رمضانپور و شاه نظری (Ramazanianpour & Shahnazari, 1988) خرابی بتن سخت شده بر اثر سیکل‌های مکرر ذوب و یخ‌زدگی در هوای سرد را در سازه‌های آبی (مانند کانال‌های آبیاری که امکان جذب آب و اشباع شدن آنها وجود دارد) محتمل‌تر از دیگر سازه‌های بتنی می‌دانند. بتن مورد استفاده در کانال‌های آبیاری با بتن مورد استفاده در اغلب سازه‌های بتنی متفاوت است. از جمله این تفاوت‌ها می‌توان به این موارد اشاره کرد: غیر مسلح بودن، ضخامت کم (۵ تا ۱۰ سانتی‌متر)، دوام‌محور بودن (به‌جای مقاومت‌محور بودن)، ناممکن بودن به‌کارگیری ویبراتور در سطوح شیبدار با مقطع دوزنقه، ارتباط دائم با آب و امکان اشباع شدن آن، امکان تخریب در مناطق سردسیر و محدودیت در قطر بزرگ‌ترین سنگدانه به ۱۹ میلی‌متر. از طرف دیگر، این سازه یک سازه بین رشته‌ای است که مسائل مربوط به آن نیز از طریق متخصصان بین رشته‌ای

منظور در پروژه‌های مختلف از روش‌های گوناگونی مانند آزمایش‌های آزمایشگاهی روی نمونه‌ها یا روش‌های میدانی و غیره استفاده می‌شود. مهمترین پارامتر طراحی در سازه‌های آبی با مصالح بتنی مانند کانال‌های آبیاری، میزان دوام در برابر عامل مخرب محیطی از جمله یخ‌زدگی بتن اشباع در اثر جذب آب در محیط سردسیر است. در این سازه‌ها به دلیل مقدار کم بار فشاری، مقاومت فشاری پارامتری است فرعی و جایگزین آن دوام در برابر نیروی مخرب است، با این حال مقاومت فشاری نیز بر اساس توصیه‌های آیین‌نامه بتن ایران (Aba, 2005) ارزیابی می‌شود تا میزان انطباق آن با حداقل استانداردهای توصیه شده بررسی شود (Bahramloo & Banejad, 2014). برای ارزیابی پروژه‌های اجرا شده بتنی، آنها اغلب با استفاده از روش مخرب^۱ مغزه‌گیری می‌شوند و در آزمایشگاه روی آنها آزمایش‌های مختلف اجرا می‌شود. اگرچه در این روش نتایج نسبتاً واقعی و مستقیم از پارامترهای مورد نظر به‌دست می‌آید، ولی عوارضی دارد که گاهی به سختی قابل جبران‌اند. از جمله این عوارض، آسیب رساندن به پروژه، هزینه بالا، نیاز به اکیپ و تجهیزات گسترده، و زمان‌بر بودن این روش است که گاهی منجر به توقف بهره‌برداری نیز خواهد شد (Aydin & Saribiyik, 2010). برای جلوگیری از این عوارض، در صورت اثبات وجود برقراری همبستگی، می‌توان از روش‌های آزمایش غیر مخرب^۲ استفاده کرد که به مراتب ساده‌تر، سریع‌تر و کم هزینه‌ترند. آزمایش مقاومت الکتریکی، اولتراسونیک و چکش اشمیت از این روش‌ها هستند. امروزه آزمایش‌های غیرمخرب بتن تأثیر و عملکرد مناسب و کاربردی در تعمیرات سازه‌های بتنی دارد. آزمایش‌های غیر مخرب بتن با در اختیار قراردادن داده‌های مختلف سازه‌های موجود، به کارشناسان و

1- Destructive testing (DT)

3- Non-destructive 4-point Wenner electrical resistance method

2- Nondestructive testing (NDT)

کیفیت بتن با روش مقاومت الکتریکی در پرتغال نتیجه‌گیری می‌کند که روش غیر مخرب ارزیابی با استفاده از روش چهار نقطه‌ای ونر روشی است ساده با تکنیک عالی برای کنترل کیفیت بتن که می‌تواند در حین اجرا یا به‌هنگام بهره‌برداری برای توسعه سازه، کاهش تعمیرات و افزایش دوام و عمر مفید به‌کارگرفته شود. سازمان بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA, 2002) در کتاب راهنمای آزمایش‌های غیرمخرب سازه‌های بتنی می‌گوید روش چهار نقطه‌ای ونر اغلب برای تعیین مقاومت بتن درجا مناسب‌تر از روش دو نقطه‌ای است. این روش را ابتدا زمین‌شناسان برای طبقه‌بندی خاک‌ها استفاده کرده‌اند. ملکوتی (Malakooti, 2017) در بررسی مقاومت الکتریکی بتن به عنوان یک آزمایش پایه عملیاتی در دانشگاه یوتای آمریکا نتیجه‌گیری می‌کند که بین مقادیر مقاومت الکتریکی چهارنقطه‌ای ونر و مقدار نفوذپذیری بتن نسبت به یون کلراید رابطه برقرار است. آذرسا و گوپتا (Azarsa & Gupta, 2017) با مرور تحقیقات مرتبط با ارزیابی دوام بتن با استفاده از مقاومت الکتریکی نتیجه‌گیری کرده‌اند که بین مقاومت فشاری بتن و مقاومت الکتریکی آن رابطه‌ای مستقیم وجود دارد به طوری که هر دو آنها به تداخل مخلوط بتن در روزهای اولیه بستگی دارد. این پژوهشگران می‌افزایند در سنین بالاتر، نمک‌های موجود در منافذ و میزان اشباع‌شدگی این رابطه را تحت تاثیر قرار می‌دهد و رابطه کاربردی بین این دو پارامتر در پژوهش‌های بررسی شده یافت نشده است؛ گزارش این محققان نشان می‌دهد که بین مقاومت الکتریکی سطح بتن (چهار نقطه‌ای ونر) و دو نقطه‌ای (حجمی) رابطه مستقیم وجود دارد.

مرور تحقیقات گذشته بیانگر کمبود پژوهش در بررسی رابطه آزمایش مخرب مغزه‌گیری با روش‌های غیر مخرب در پوشش بتنی کانال‌های آبیاری است. از طرف دیگر، بتن مورد استفاده در پوشش کانال‌های آبیاری با خصوصیتی همانند ضخامت حداکثر ۱۰ سانتی‌متری، قطر

قابل بررسی است (Bahramloo et al., 2018). الزامات اساسی بتن خوب در حالت سخت شده عبارت است از مقاومت فشاری رضایت بخش و دوام کافی (Aba, 2005). در خصوص امکان ارزیابی سازه‌های بتنی به روش غیر مخرب تحقیقات مختلفی شده‌است ولی در خصوص پوشش بتنی به کار رفته در کانال‌های آبیاری تحقیقات دیده نشده است. بتن به کار رفته در پوشش کانال‌های آبیاری متفاوت است با بتن دیگر سازه‌ها و از این رو در این پژوهش به بررسی این موضوع مهم پرداخته شده است.

بهراملو (Bahramloo, 2007) در بررسی علل تخریب پوشش بتنی کانال‌های آبیاری در دشت همدان با استفاده از مغزه‌گیری و آزمایش‌های مختلف روی آنها نتیجه گرفته است که به‌رغم مقاومت قابل قبول آن در روزهای اول بتن‌ریزی، مقاومت فشاری متوسط در بخش‌های ترک-خورده (حدود ۷۱ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع) سبب تخریب آنها شده است. وی نتیجه‌گیری می‌کند که هزینه این نوع ارزیابی بالاست و پس از ترمیم محل‌های مغزه‌گیری نیز کیفیت آب‌بندی پوشش بتنی به حالت اول برنخواهد گشت و مقدار تلفات آب از این محل‌ها بیشتر است تا در جاهای دیگر. تدین (Tadaiion, 2011) گزارش داده است که در نشریه ۱۰۸ به مسئله دوام پوشش بتنی کانال‌های آبیاری توجهی نشده و ملاک ارزیابی کیفیت بتن در این سازه مشابه ملاک ارزیابی کیفیت بتن در دیگر سازه‌های بتنی، تنها مقاومت فشاری اعلام شده است. این پژوهشگر می‌گوید همواره بین مقاومت فشاری و پارامترهای دوام (مانند جذب آب) رابطه مستقیم وجود ندارد و بررسی رابطه آنها در هر سازه نیاز به آزمایش دارد. آزمایش‌های ارزیابی دوام در تعیین کیفیت بتن بسیار زمان‌بر، مخرب و پرهزینه‌اند و به همین دلیل در پروژه‌های اجرایی کمتر به کار برده می‌شوند و بیشتر پارامترهای مقاومتی بررسی و ملاک ارزیابی کیفیت بتن قرار می‌گیرند. (Cristina Silva et al., 2011) در ارزیابی

باشند. با در نظر گرفتن موارد مذکور تعدادی از کانال‌های استان همدان به گونه‌ای انتخاب شد که نماینده مناسبی از پوشش کانال‌های آبیاری در منطقه سردسیر همدان باشند. همچنین سعی شد کانال‌هایی انتخاب شود که تا حد ممکن دارای اسناد مطالعات، اجرا و نتایج آزمایش‌های مکانیک خاک و بتن باشند.

برای استخراج پارامترهای طراحی و مشخصات اجرا در کانال‌های انتخاب شده، دفترچه مطالعات، نقشه‌های اجرایی و مستندات اجرا و بهره‌برداری کانال‌های با پوشش بتنی استان بررسی شد. با توجه به اینکه استان همدان دارای دو حوضه آبریز اصلی گاماسیاب (شامل دشتهای نهاوند، توپسراکان، ملایر و اسدآباد) و قره‌چای (شامل دشتهای همدان-بهار، رزن-قهاوند و کبودرهنگ) است، سعی شد کانال‌های مورد نظر این دو حوضه اصلی را پوشش دهد. برای این منظور در دشت نهاوند، ۳ کانال شامل: نهرشعبان، قلعه‌قباد و وراینه، در دشت رزن-قهاوند ۳ کانال شامل: تازه‌که‌ریز، درجزین و حکان و در دشت همدان-بهار کانال دینگله‌که‌ریز و در مجموع ۷ کانال انتقال آب آبیاری برای بررسی انتخاب شدند. در مورد کانال‌های انتخاب شده، پارامترهای فنی با جزئیات بیشتر از قبیل موقعیت شبکه در استان، فرضیات طراحی، دبی انتقال، طول، ابعاد هندسی، جهت جغرافیایی مسیر، مدت بهره‌برداری، طرح اختلاط بتن، نوع سیمان، ضخامت پوشش، نسبت آب به سیمان و همچنین کلیه نتایج آزمایش‌های اجرا شده روی آنها بررسی شد.

مشخصات و موقعیت مقاطع مورد ارزیابی

در ۷ مورد از کانال‌های آبیاری با پوشش بتنی انتخاب شده برای بررسی، ۱۳ مقطع برای مغزه‌گیری انتخاب و از بخش شیب‌دار آنها مغزه‌گیری شد. در هر مقطع ۱۲ و در مجموع ۱۵۶ مغزه بتنی در اطراف نقطه آزمایش مقاومت الکتریکی تهیه شد. مختصات مرکز کانال در نقطه مورد نظر برای مغزه‌گیری با استفاده از دستگاه GPS تعیین شد

بزرگترین سنگدانه، قابل استفاده نبودن ویراتور در تراکم در وجوه جانبی، اشباع‌بودن به دلیل تماس دائمی با آب و غیره، با بتن سایر سازه‌های بتنی متفاوت و مقادیر پارامترها و روابط بین آنها نیز متفاوت است (Bahramloo *et al.*, 2018).

هدف از تحقیق حاضر به‌دست آوردن رابطه‌ای بین آزمایش غیرمخرب مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای ونر در صحرا با آزمایش‌های آزمایشگاهی مانند مقاومت فشاری و جذب آب روی مغزه‌های بتنی اخذ شده از پوشش بتنی کانال‌های آبیاری به روش مخرب است تا براساس آن بتوان در صورت یافتن رابطه همبستگی، پوشش کانال‌ها را با روش غیر مخرب مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای ونر ارزیابی و پارامترهای مورد نیاز را برآورد کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش روی ۷ مورد از کانال‌های اصلی انتقال آب آبیاری در دشتهای رزن-قهاوند، همدان-بهار در حوضه آبریز قره‌چای در شمال و نهاوند در حوضه آبریز گاماسیاب در جنوب استان همدان اجرا شده که در ادامه مشخصات و موقعیت آنها تشریح شده است.

ویژگی‌های مطالعه موردی

مجموع طول کانال‌های پوشش‌دار استان همدان ۱۲۶۶ کیلومتر است که ۱۰۰ کیلومتر را شرکت آب منطقه‌ای و ۱۱۶۶ کیلومتر را سازمان جهاد کشاورزی اجرا کرده است. حدود ۶۰ درصد از کانال‌های پوشش‌دار استان همدان بتنی و بقیه با سنگ و ملات است (Bahramloo *et al.*, 2019). کانال‌های پوشش‌شده استان از لحاظ پارامترهای مختلف مانند زمان شروع بهره‌برداری، بزرگی و کوچکی کانال، درجه کانال، موقعیت و جهت امتداد کانال و سایر پارامترها دامنه وسیعی دارند. این پارامترها می‌توانند بر کیفیت و دوام پوشش بتنی کانال تأثیرگذار

که این مختصات برای ۱۳ نقطه مورد نظر در کانال‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- موقعیت و مشخصات کانال‌های انتخابی

Table 1- Location and properties of selected irrigation canals

ردیف	نام کانال Canal Name	مقطع کانال Canal Part.	دشت Plain	مختصات Coordinate (UTM)	
				X	Y
1	قلعه‌قباد Ghaleh Ghobad	GH-1 GH-2		262289	3775655
				262906	3775681
				262189	3777706
2	نهر شعبان Shaban river	NSH-1 NSH-2	نهادند Nahavad	262188	3777709
				259823	3774220
3	وراینه Varaieneh	VAR-1 VAR-2		260209	3774551
1	تازه کریز Tazeh Kariz	TKRZ		325158	3913171
				325319	3914174
				330753	3924253
2	درجزین Darjazin	DJZN	رزن - قهاوند Razan- Ghahavand	330785	3923846
				282656	3854872
3	حکان Hakan	HKN-1 HKN-2		286271	3855647
				286274	3855652
				286274	3855652
4	دینگله کهریز Dingeleh Kariz	DKRZ-1 DKRZ-2 DKRZ-3	همدان-بهار Hamedan-Bahar	286271	3855647
				286274	3855652
				286274	3855652

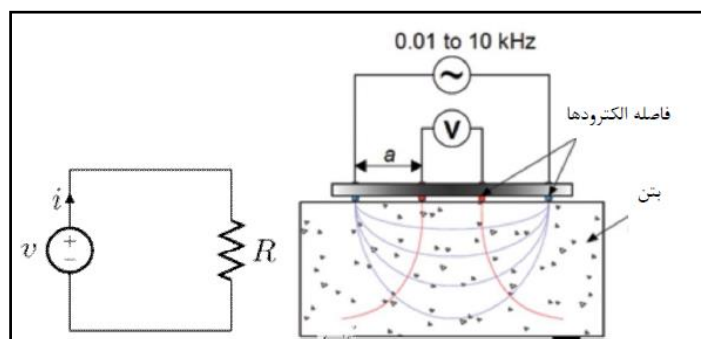
آزمایش‌های صحرائی

۱- آزمایش مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای

آزمایش مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای نوعی آزمایش غیر مخرب سریع و آسان به‌شمار می‌آید و به دلیل راحتی اجرای آن، مناسب برای ارزیابی در محل پروژه است.

در این روش مطابق شکل ۱ از ۴ الکتروود برای عبور جریان (الکتروودهای بیرونی) و تعیین مقاومت

الکتریکی بین آنها در بتن مورد آزمایش استفاده می‌شود. محل مورد آزمایش در هر کانال، قبل از مغزه‌گیری با استفاده از سمبادهٔ برقی ساییده و بعد از اشباع، مقاومت الکتریکی پوشش بتنی با روش چهار نقطه‌ای ونر با ۳ تکرار تعیین شد. نقاط برای آزمایش مقاومت الکتریکی به گونه‌ای انتخاب شد که در مجاورت محل مغزه‌گیری در سطح شیبدار مقطع کانال‌ها باشند.



شکل ۱- نحوه عملکرد اجزای روش چهار نقطه‌ای ونر در آزمایش

Fig. 1- Electrical resistivity measuring by four-point (Wenner probe) method

در این دستگاه مطابق شکل ۱ قانون اهم برقرار است و از این رو مقدار مقاومت الکتریکی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$V=I \times R \quad (1)$$

که در آن،

R = مقاومت الکتریکی نمونه بتنی بر حسب اهم-
 سانتی‌متر؛ V = اختلاف ولتاژ بین دو الکتروود درونی؛ I =
 مقدار شدت جریان بین دو الکتروود بیرونی. در این دستگاه
 بین دو الکتروود میانی اختلاف پتانسیل و دو الکتروود

بیرونی، مقدار شدت جریان بین ۰/۰۱ تا ۱۰ کیلوهرتز است.
 در شکل ۲، نمونه‌ای از چگونگی آزمایش تعیین مقاومت الکتریکی به روش چهار نقطه‌ای و دستگاه مربوط نشان داده شده است. برای جلوگیری از خطای احتمالی، این آزمایش در هر نقطه سه بار تکرار شد. از عوامل مؤثر در اجرای آزمایش چهار نقطه‌ای ونر میزان رطوبت بتن و دمای محیط است. در حین آزمایش بتن باید در حالت اشباع با سطح خشک (SSD) باشد. همچنین برای اطمینان از ثابت بودن دما، مقدار آن ثبت می‌شود.



شکل ۲- تعیین مقاومت الکتریکی به روش چهار نقطه‌ای در صحرا

Fig. 2- Electrical resistivity measuring by four-point (Wenner probe) method in the field

۲- مغزه‌گیری

سانتی‌متر)، با توجه به ضخامت پوشش، پس از مغزه‌گیری بلافاصله در محل تعیین و ثبت شد. در شکل ۳ محل و تعداد ۱۲ مغزه بتنی اخذ شده از کانال تازه‌کهریز نشان داده شده است.

از پوشش‌های بتنی به روش مغزه‌گیری طبق استاندارد ASTM C42 (1997) با استفاده از دستگاه مغزه‌گیر استوانه‌ای نمونه‌گیری شد. قطر مغزه‌های بتنی تهیه شده ۶۹ میلی‌متر و طول آنها (حدود ۱۰



شکل ۳- مغزه‌گیری از پوشش بتنی کانال‌های مورد ارزیابی و تعیین مقاومت فشاری آنها

Fig. 3- Concrete corring in studied canals linings and determination of their compressive strength

فشاری آنها طبق استاندارد ASTM C42 (1997) تعیین شد. در این استاندارد، بهترین نسبت طول به قطر مغزه‌ها در تعیین دقیق مقاومت فشاری، بین ۱/۹ تا ۲/۱ و تا نسبت ۱/۷۵ می‌باشد و در این حالت نیاز به اصلاح نیست و عدد خوانده شده به عنوان مقاومت فشاری ثبت شد. برای حالتی که نسبت طول به قطر مغزه بتنی کمتر از ۱/۷۵ باشد، با استفاده از ضرائب ارائه شده در جدول ۲، مقدار مقاومت فشاری اصلاح گردید.

آزمایش‌های آزمایشگاهی

۱- تعیین مقاومت فشاری مغزه‌ها

در آزمایشگاه، برش دو سر نمونه‌ها بر اساس بند ۶۲۵ آیین‌نامه بتن ایران اجرا و مجدداً قطر و ارتفاع آنها با استفاده از کولیس اندازه‌گیری و ثبت شد (Aba, 2005). در این مرحله، نمونه‌ها طبق بند ۶۰۱ آیین‌نامه بتن ایران (Aba (2005) کلاهی‌گذاری (کپینگ) شدند و با استفاده از دستگاه بتن‌شکن (سمت چپ شکل ۳) مقاومت

جدول ۲- ضرائب اصلاح مقاومت فشاری مغزه بتنی بر اساس نسبت طول به قطر

Table 2- Strength Correction Factor based on Ratio of Length to Diameter

نسبت طول به قطر Ratio of Length to Diameter (L/D)	ضریب اصلاح مقاومت فشاری Strength Correction Factor
2	1
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

شدند که ۲ تا ۴ میلی‌متر آن داخل آب باشد. در این استاندارد برای تعیین عمق نفوذ مویینه آب از رابطه ۲ استفاده شده است:

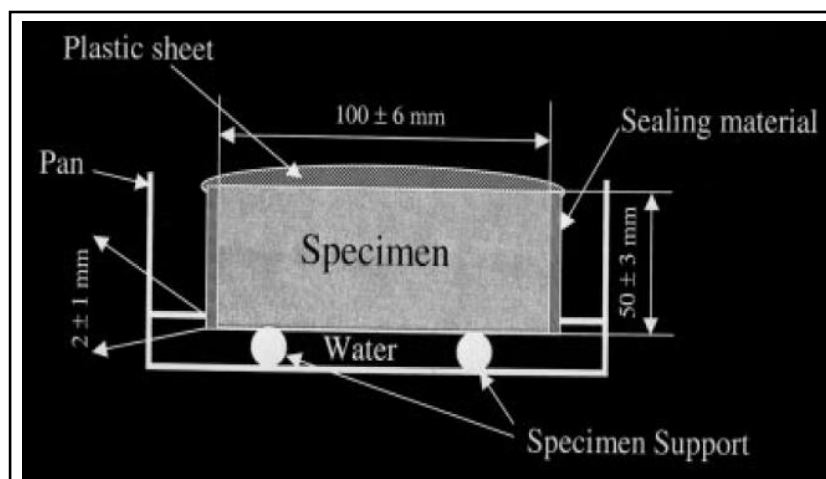
$$I = \frac{m_i}{A \times \rho} \quad (2)$$

۲- آزمایش جذب آب مویینه

جذب آب مویینه مغزه‌های بتنی طبق استاندارد ASTM C1585 (2004) آزمایش شد. نمونه‌ها در دمای ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک و پس از آن به گونه‌ای در بالای سطح آب قرار داده

که در آن،
 I = عمق نفوذ آب (میلی‌متر)؛ m_t = تغییر جرم
 نمونه بتنی در زمان t (گرم)؛ A = مساحت سطح
 مقطع آزمون‌ها (میلی‌مترمربع)؛ و ρ = جرم مخصوص
 آب (۰/۰۰۱ گرم بر میلی‌مترمربع).
 نمونه‌های مورد آزمایش استوانه‌ای به ارتفاع ۵
 قطر ۶۹ میلی‌متر بودند.
 پس از آن به‌جز سطح دایره‌ای پایین آزمون،
 بقیه قسمت‌ها عایق شد و جرم خشک آنها تعیین
 شد. پس از قرارگیری نمونه در ظرف آب (شکل

شماتیک ۴)، در زمان‌های مختلف و ترجیحاً پس از
 ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰، ۳۰۰،
 ۳۶۰ دقیقه و روز اول تا روز هشتم، وزن نمونه
 اندازه‌گیری و یادداشت شد.
 با داشتن اختلاف وزن در هر مرحله و سایر
 پارامترها، با استفاده از رابطه ۱ مقدار جذب آب
 مویینه بر حسب میلی‌متر تعیین شد. این عمل
 معمولاً بعد از هشت روز تغییری نداشت و از این رو
 اندازه‌گیری‌ها مطابق این استاندارد بعد از آن خاتمه
 یافت.



شکل ۴- شماتیک آزمایش جذب آب مویینه بتن (ASTM C1585, 2004)

Fig. 4- Schematic image of capillary water absorption test in concrete specimen (ASTM C1585, 2004)

نتایج و بحث

نتایج آزمایش‌های صحرائی

در جدول ۳، میانگین مقادیر مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای ونر اجرا شده در محل روی پوشش‌های بتنی نشان داده شده است.

مطابق این جدول، مقاومت الکتریکی پوشش‌های بتنی مورد ارزیابی با استفاده از روش چهار نقطه‌ای ونر بین ۱۵۰ تا ۱۲۰۰ و به طور متوسط ۶۸۳ اهم-متر است.

آزمایش جذب آب حجمی

میزان درصد جذب آب اولیه یا نیم ساعته، نهایی یا ۷۲ ساعته و جذب آب جوشیده مغزه‌های بتنی با روش ASTM C642 (2000) روی مغزه‌های تهیه شده تعیین شد. این مقادیر به صورت وزنی است و از تقسیم وزن آب جذب شده به وزن بتن خشک در مدت زمان‌های قید شده به صورت درصد بیان می‌شود. برای تعیین جذب آب جوشیده، نمونه‌ها در آب به مدت ۵ ساعت جوشانده شده و بعد مقدار جذب آب تعیین شد.

جدول ۳- مقادیر مقاومت الکتریکی و فشاری مغزه‌های بتنی

Table 3- Electrical and compressive strengths of concrete cores

مقاومت فشاری compressive strengths (Mpa)	مقاومت الکتریکی Electrical strengths(ohm-m)	مقطع کانال Canal Sec.
15	350	GH-1
21	700	GH-2
24	900	NSH-1
31	1000	NSH-2
20	510	VAR-1
12	210	VAR-2
26	600	TKRZ
30	1200	DJZN
32	1060	HKN-1
16	450	HKN-2
10	150	DKRZ-1
28	1100	DKRZ-2
21	650	DKRZ-3
22	683	میانگین Mean

نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی

مطابق این جدول، مقادیر جذب آب اولیه مغزه‌های بتنی تهیه شده از پوشش کانال‌های مورد ارزیابی بین ۲/۵ تا ۵/۷ و به طور متوسط ۳/۸ درصد تعیین شد. همچنین مقدار جذب آب جوشیده بین ۵/۵ تا ۱۰ و به طور متوسط ۷/۷ درصد است. بهراملو (Bahramloo, 2015) در تعیین شاخص بتن بادوام قابل استفاده در پوشش بتنی کانال‌های آبیاری مناطق سردسیر در برابر سیکل‌های متناوب یخ‌زدن-ذوب‌شدن، حداکثر مقدار جذب آب اولیه و نهایی را به ترتیب ۳ و ۵ درصد توصیه کرده‌است. مطابق این شاخص‌ها کانال‌های کد NSH-2، DJZN و HKN-1 که از مقاومت و کیفیت مناسب برخوردار بودند، آب کمتری جذب کرده‌اند و دوام لازم را نیز دارند. این موضوع بیانگر این است که اگر در یک پوشش بتنی مقدار جذب آب (که از شاخص‌های مهم دوام است) کمتر از حداکثر مجاز باشد، دوام و مقاومت فشاری لازم را نیز خواهد داشت ولی عکس آن صادق نیست یعنی افزایش مقاومت فشاری به کاهش جذب آب و افزایش دوام نخواهد انجامید.

در ستون سوم جدول ۳ مقدار متوسط مقاومت فشاری مغزه‌های اخذ شده (۱۲ مورد در هر مقطع) از پوشش بتنی ۱۳ مقطع کانال‌های مورد ارزیابی ارائه شده است. مطابق این جدول، مقدار مقاومت فشاری مغزه‌های بتنی تهیه شده از این مقاطع بین ۱۰ تا ۳۲ و به طور متوسط ۲۲ مگاپاسکال می‌باشد. طبق استاندارد بتن ایران (Aba, 2000) حداقل مقاومت فشاری در پوشش بتنی کانال‌های آبیاری ۳۰ مگاپاسکال تعیین شده است. مطابق این استاندارد، تنها ۳ مورد از پوشش بتنی کانال‌های مورد ارزیابی شامل کانال‌های کد NSH-2، DJZN و HKN-1 مقاومت فشاری لازم را دارند، سایر کانال‌ها فاقد کیفیت مقاومتی لازم هستند. مقاومت‌های پایین در مقطعی از کانال‌های مورد ارزیابی حاصل شده که بازدیدهای صحرائی نیز بیانگر کیفیت دوام پایین و ترک‌خوردگی است. در جدول ۴، نتایج آزمایش‌های جذب آب مویینه، جذب آب اولیه (نیم ساعته) و جذب آب جوشیده ارائه شده است.

مقاومت الکتریکی، مقدار مقاومت فشاری را برآورد کرد. بهراملو و همکاران (Bahramloo *et al.*, 2019) در تحقیقات مشابه با روش غیر مخرب چکش اشمیت نتیجه‌گیری کرده‌اند که بین روش غیر مستقیم چکش اشمیت و مقاومت فشاری مغزه‌های پوشش بتنی در کانال‌های آبیاری رابطه‌ی نمایی مستقیم مناسبی با ضریب همبستگی ۸۶ درصد (مشابه روش ونر) برقرار است و می‌توان با استفاده از آزمایش غیر مخرب چکش اشمیت، مقدار مقاومت فشاری را برای ارزیابی و کنترل کیفیت سازه پوشش بتنی کانال‌های انتقال آب برآورد کرد.

روابط بین آزمایش‌های غیرمخرب صحرایی شامل مقاومت الکتریکی به روش چهار نقطه‌ای ونر در محل پروژه با نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی روی مغزه‌های بتنی تهیه شده به روش مخرب نیز بررسی شده است. در شکل ۷، رابطه‌ی بین مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای ونر و مقاومت فشاری ارائه شده است. مشاهده می‌شود که بین این دو پارامتر رابطه مستقیم مناسبی با ضریب همبستگی ۸۷ درصد برقرار است. از این رو برای ارزیابی سازه و تعیین مقاومت فشاری در پوشش بتنی کانال‌های آبیاری می‌توان با استفاده از آزمایش غیر مخرب

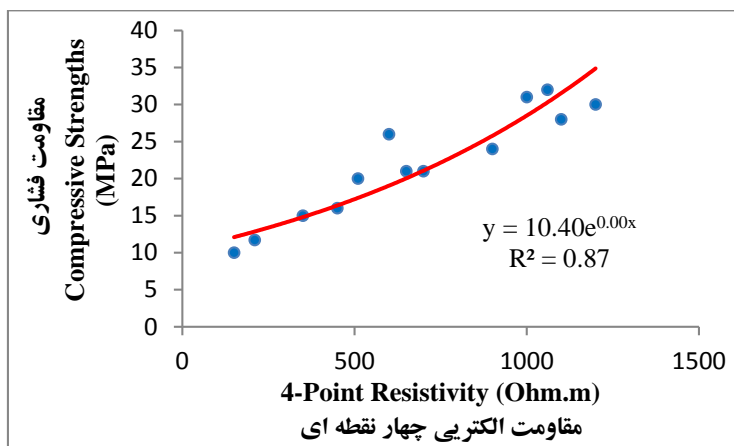
جدول ۴- مقادیر پارامترهای جذب آب مغزه‌های بتنی

Table 4- water absorption parameters of concrete cores

جذب آب (درصد)			مقطع کانال Canal Sec.
Water absorption (%)			
مویینه Capillary	جوشیده Boiled	اولیه Initials	
8	8.5	4	GH-1
6.5	8	4	GH-2
6	7	3.5	NSH-1
4	6	2.7	NSH-2
6.5	8.1	4	VAR-1
9.5	9.6	5.2	VAR-2
6	7.3	4	TKRZ
4.2	5.5	2.5	DJZN
3	6	3	HKN-1
7.2	9	4.2	HKN-2
10	10	5.7	DKRZ-1
3	7	3.3	DKRZ-2
6	8	3.6	DKRZ-3
6.22	7.7	3.8	میانگین Mean

درصد وجود دارد که با توجه به غیرمخرب بودن آزمایش مقاومت الکتریکی می‌توان از آن برای تعیین سایر پارامترهای دوام و مقاومت استفاده کرد.

صدرممتازی و طهمورثی (Sadr Momtazi & Tahmors, 2018) در تحقیقات خود نتیجه‌گیری کرده‌اند که بین مقاومت الکتریکی و مقاومت فشاری بتن رابطه‌ی نمایی مستقیم با ضریب همبستگی ۷۲

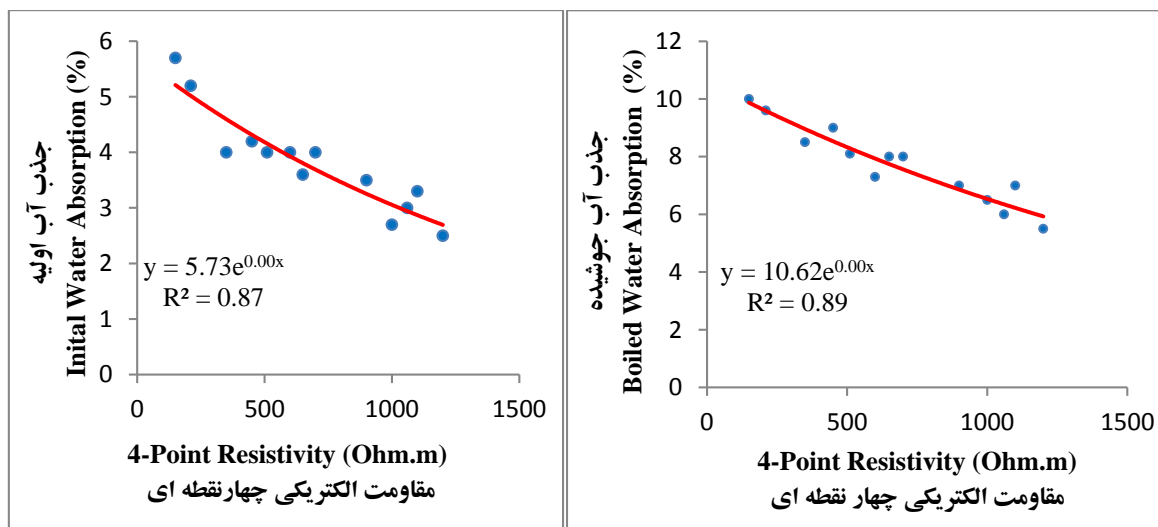


شکل ۵- رابطه بین مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی در مغزه‌های بتنی

Fig. 5- Electrical and compressive strengths relationship of concrete cores

آزمایشی غیرمخرب است، از این رو با داشتن رابطه بین آنها می‌توان از هزینه و عوارض مغزه‌گیری جلوگیری و مقادیر آنها را بر مبنای مقدار مقاومت الکتریکی برآورد کرد. صدرممتازی و طهمورثی (Sadr Momtazi and Tahmorsi, 2018) گزارش کرده‌اند که بین مقاومت الکتریکی و تخلخل، جذب آب مویینه و عمق نفوذ آب رابطه‌ی نمایی معکوس قابل قبولی برقرار است و با توجه به غیرمخرب بودن آزمایش مقاومت الکتریکی می‌توان از آن برای تعیین سایر پارامترهای دوام و مقاومت استفاده کرد.

در شکل‌های ۶ و ۷ رابطه بین مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای در صحرا با مقادیر جذب آب اولیه (نیم ساعت) و آب جوشیده مغزه‌های اخذ شده در آزمایشگاه ارائه شده است. مطابق این نمودارها، رابطه معکوس نمایی مناسب با ضریب همبستگی ۸۷ و ۸۹ درصد به ترتیب بین مقاومت الکتریکی و جذب آب اولیه و آب جوشیده پوشش بتنی کانال‌های مورد ارزیابی وجود دارد. با توجه به این‌که برای تعیین مقادیر جذب آب اولیه و جوشیده که از پارامترهای لازم برای ارزیابی دوام بتن هستند، نیاز به مغزه‌گیری است، در حالی که مقاومت الکتریکی

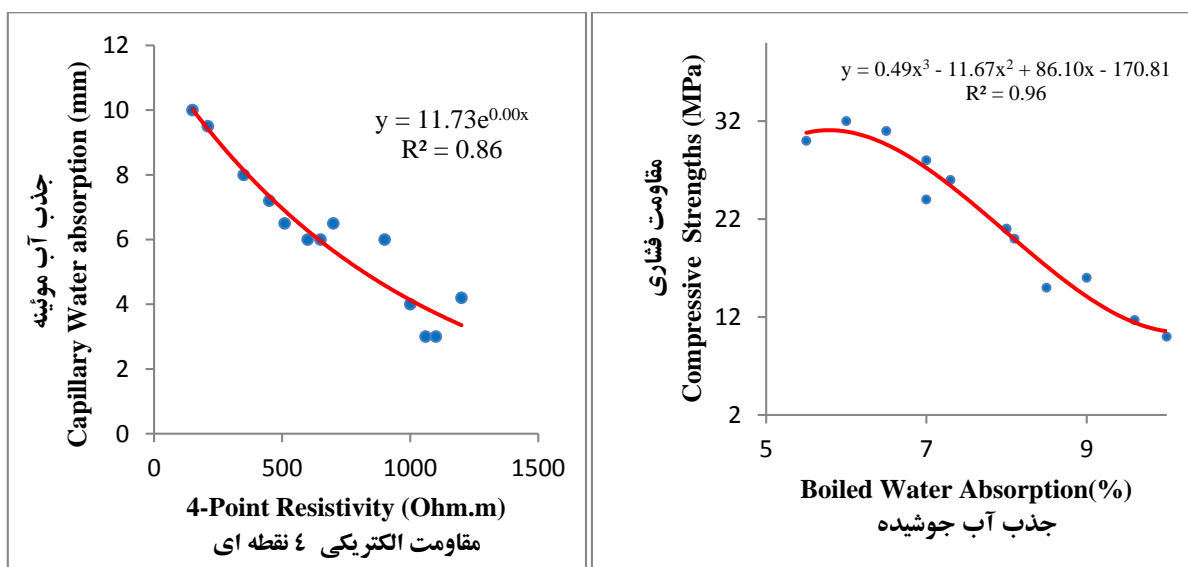


شکل ۶- رابطه بین مقاومت الکتریکی و جذب آب اولیه

Fig. 6- Correlation between electrical strengths and initial water absorption

معکوسی با ضریب همبستگی مناسب ۸۶ درصد بین این دو پارامتر برقرار است. آزمایش جذب آب مویینه علاوه بر نیاز به تهیه مغزه بتنی، بسیار زمان‌بر و پرهزینه است، با داشتن روابط ارائه شده در این نمودارها، می‌توان این پارامتر را بدون تخریب و با آزمایش ساده مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای در صحرا تعیین کرد. صدرممتازی و طهمورثی (Sadr Momtazi & Tahmorsi, 2018) در تحقیقات خود نتیجه‌گیری کرده‌اند که بین مقاومت فشاری و تخلخل، جذب آب مویینه و عمق نفوذ آب رابطه‌ی نمایی معکوسقابل قبولی برقرار است و با توجه به غیرمخرب بودن آزمایش مقاومت الکتریکی می‌توان از آن برای تعیین سایر پارامترهای دوام و مقاومت استفاده کرد.

بهراملو و همکاران (Bahramloo et al., 2019) در تحقیقات مشابه با روش غیر مخرب چکش اشمیت نتیجه‌گیری کرده‌اند که بین روش غیر مستقیم چکش اشمیت و جذب آب اولیه، نهایی و مویینه مغزه‌های پوشش بتنی در کانال‌های آبیاری رابطه‌ی نمایی معکوس با ضریب همبستگی به ترتیب ۷۰، ۸۰ و ۸۸ برقرار است. مقایسه این دو روش غیر مخرب بیانگر همبستگی بیشتر در روش الکتریکی چهارنقطه‌ای و نسبت به روش چکش اشمیت است. در شکل ۷، رابطه بین مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای و نرخ در پوشش بتنی کانال‌های در دست بهره‌برداری در محل با جذب آب مویینه مغزه‌های تهیه شده از آنها در آزمایشگاه ارائه شده است. مطابق این شکل، رابطه‌ی نمایی



شکل ۷- رابطه بین مقاومت فشاری و جذب آب جوشیده

Fig. 7- Correlation between compressive strengths and boiled water absorption

خطی معکوس نیست و این موضوع بیانگر این است که طبق نمودار گاهی ممکن است در یک مقاومت فشاری ثابت قابل قبول، مقدار جذب آب کمتر یا بیشتر از حد مجاز باشد. این موضوع نشان دهنده این است که مقاومت فشاری در پوشش بتنی کانال‌های آبیاری شاخص مطمئنی بر دوام آن در مقابل جذب آب و یخبندان نیست و

در نمودار سمت چپ شکل ۷، رابطه بین مقادیر مقاومت فشاری مغزه‌های بتنی با مقادیر جذب آب جوشیده آنها ارائه شده است. طبق این نمودار بین این دو پارامتر رابطه معکوس از نوع منحنی درجه ۳ با ضریب همبستگی مناسب ۹۶ درصد برقرار است. بر اساس این نمودار رابطه بین مقاومت فشاری و جذب آب همواره

بررسی و روابط مربوط با مغزه‌گیری و آزمایش‌های آزمایشگاهی روی آنها استخراج شده است. به منظور برقراری رابطه بین آزمایش ساده و غیر مخرب مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای ونر با پارامترهای مقاومت فشاری و پارامترهای مختلف جذب آب مویینه و حجمی، ۱۳ مقطع از ۷ مورد از کانال‌های اصلی انتقال آب در استان همدان انتخاب شد. در این مقاطع مورد بررسی به آزمایش مقاومت الکتریکی به روش چهار نقطه‌ای ونر با ۳ تکرار و مغزه‌گیری به تعداد ۱۲ مورد از هر مقطع کانال و در کل ۱۵۶ مورد پرداخته شد. بر اساس مجموع نتایج آزمایش غیرمخرب مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای ونر در محل کانال‌ها و مقادیر مقاومت فشاری و جذب پارامترهای آب حجمی و مویینه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که:

در پوشش‌های بتنی مورد ارزیابی مقدار مقاومت الکتریکی به روش چهار نقطه‌ای ونر بین ۱۵۰ تا ۱۲۰۰ و به طور متوسط ۶۸۳ اهم-متر و مقدار مقاومت فشاری آنها بین ۱۰ تا ۳۲ و به طور متوسط ۲۲ مگاپاسکال تعیین شد. در مغزه‌های بتنی تهیه شده از پوشش کانال‌های مورد ارزیابی مقادیر جذب آب اولیه بین ۲/۵ تا ۵/۷ و به طور متوسط ۳/۸ درصد و جذب آب جوشیده آنها بین ۵/۵ تا ۱۰ و به طور متوسط ۷/۷ درصد تعیین شد.

مقایسه همبستگی بین داده‌های آزمایش غیر مخرب مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای ونر در محل کانال‌های در دست بهره‌برداری و نتایج مقاومت فشاری روی مغزه‌های بتنی تهیه شده به روش مخرب، بیانگر وجود رابطه‌ی نمایی مستقیم با ضریب همبستگی ۸۷ درصد بین آنهاست. با توجه به این رابطه مناسب، برای ارزیابی کیفیت پوشش بتنی در کانال‌های آبیاری، نیازی به آزمایش مخرب و پر هزینه مغزه‌گیری نیست و می‌توان با دستگاه قابل حمل و پرداختن به آزمایش ساده و کم هزینه مقاومت الکتریکی به روش چهار نقطه‌ای ونر، با دقتی مناسب آن را تعیین کرد. در این پژوهش، بین

ضروری است جذب آب به عنوان یک شاخص دوام اندازه-گیری شود. رضانیانپور و وثوقی (Ramazanianpour & Vosoughi, 2013) در بررسی رابطه مقاومت فشاری بتن با سایر پارامترهای مرتبط نتیجه‌گیری کرده‌اند که در موارد لزوم برای کنترل کیفیت و تعیین یکنواختی بتن می‌توان از آزمایش‌های غیر مخربی مانند چکش اشمیت یا تعیین سرعت امواج فراصوت در بتن استفاده کرد. این محققان نتیجه‌گیری کرده‌اند که بین مقاومت فشاری و جذب آب اولیه رابطه‌ی نمایی غیر مستقیم و بین مقاومت فشاری با مقادیر عدد چکش اشمیت و سرعت امواج فراصوت رابطه‌ی نمایی مستقیم مناسبی وجود دارد و بر اساس مقادیر این پارامترها می‌توان بدون آزمایش مخرب مغزه‌گیری، مقدار مقاومت فشاری را تعیین کرد. صدرممتازی و طهمورثی (Sadr Momtazi, & Tahmorsi, 2018) در تحقیقات خود نتیجه‌گیری می‌کنند که بین مقاومت الکتریکی و مقاومت فشاری رابطه‌ی نمایی مستقیم با ضریب همبستگی ۷۲ درصد وجود دارد. آنها همچنین گزارش می‌دهند که بین مقاومت فشاری و تخلخل، جذب آب مویینه و عمق نفوذ آب، رابطه‌ی نمایی معکوس قابل قبولی برقرار است و با توجه به غیرمخرب بودن آزمایش مقاومت الکتریکی می‌توان از آن برای تعیین سایر پارامترهای دوام و مقاومت فشاری استفاده کرد. بهراملو (Bahramloo, 2014) در تحقیقات خود نتیجه‌گیری کرده‌است که برای ارزیابی کیفیت دوام بتن نمی‌توان تنها به پارامتر مقاومت فشاری اکتفا کرد و چه بسا گاهی ممکن است مقاومت فشاری بتن قابل قبول باشد ولی از لحاظ شاخص دوام جذب آب قابل پذیرش نباشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، چگونگی ارزیابی کیفیت پوشش بتنی در کانال‌های آبیاری در دست بهره‌برداری به روش غیر مخرب مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای ونر در صحرا

مقادیر مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای ونر و مقادیر پارامترهای جذب آب اولیه و آب جوشیده مغزه‌های بتنی تهیه شده از همان نقاط نیز رابطه توانی معکوس با ضریب همبستگی به ترتیب ۸۷ درصد و ۸۹ درصد برقرار است. با توجه به این روابط می‌توان در پوشش بتنی کانال‌های آبیاری منطقه بدون مغزه‌گیری، مقادیر جذب آب و در نتیجه وضعیت دوام را ارزیابی کرد.

با مقایسه بین دو روش غیر مستقیم چکش اشمیت و روش چهارنقطه‌ای ونر می‌توان نتیجه گرفت که اولویت در کاربرد روش غیر مخرب، استفاده از روش چهارنقطه‌ای ونر است و در این روش، همبستگی به طور متوسط حدود ۱۰ درصد در همه پارامترها بالاتر از روش چکش اشمیت است. از دیگر نتایج این پژوهش وجود رابطه معکوس درجه ۳ با ضریب همبستگی ۹۶ درصد بین جذب آب جوشیده و مقاومت فشاری مغزه‌های بتنی و کاهش مقاومت فشاری با افزایش جذب آب است. برای بررسی اینکه آیا روابط بین مقادیر مقاومت الکتریکی با پارامترهای مقاومت فشاری و پارامترهای جذب آب حاصل شده در این پژوهش که در یک منطقه با شرایط اقلیمی سرد حاصل شده، در سایر شرایط اقلیمی نیز برقرار است یا روابط دیگری در آنها وجود دارد، ضروری است مطالعات مشابه در شرایط مختلف اقلیمی مختلف کشور دنبال شود.

مراجع

- Aba. (2005). Iranian concrete bylaw. *Iranian Budget and programing Org.*, 120. Iran. (in Persian)
- 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 science procedia*, 4, 211-221.
- ACI Cmmittee 201. (2001). Guide to Durable Concrete (ACI 201.1R), *American Concrete Institute*. Farminton. Hills. Mich.
- ACI 306R-88. (1994). Cold weather concreting. *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 2.
- Anon. (2014). Technical criteria and indexes for irrigation and drainage networks, general technical specifications. *Program and Budget Organization*, 108. (In Persian)
- ASTM. (2000). Standard Test Method for Density, Absorption and voids in Hardened Concrete. *ASTM C 642, Annual book of ASTM Standards*. Philadelphia, 4(2).
- ASTM. (2004). Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes. *ASTM C1585*.
- ASTM. (2003). Standard Test Method for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of Concretes. *ASTM C42*, 04(02).
- Aydin, F. and Saribiyik, M. (2010). Correlation between Schmidt Hammer and destructive compressions testing for concretes in existing buildings. *Scientific Research and Essays*, 5(13), 1644-1648.
- Azarsa, P. and Gupta, R. (2017). Electrical Resistivity of Concrete for Durability Evaluation: A Review. Hindawi. *Advances in Materials Science and Engineering Department of Civil Engineering, University of Victoria, Victoria, BC, Canada*.
- Bahramloo, R. (2007). Evaluation of failure factor Causes of concrete lining in irrigation canals (Case Study in Hamean-Bahar plain). *J. Agric. Eng. Res*, 8(3), 81-92. (In Persian)

- Bahramloo, R. and Banejad, H. (2014). Evaluation quality of durability in concrete lining of irrigation canals in cold climates (case study in Hamedan province). *Iranian journal of irrigation and drainage*, 1(8), 171-179. (In Persian)
- Bahramloo, R. (2015). Review and provide new indexes of durability in concrete lining of irrigation canals in cold areas. *Thesis Submitted in doctor of Philosophy in water structures*. Dept. of water engineering, Faculty of agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. (In Persian)
- Bahramloo, R. Asadian, G., Goharian, S. and Ghadami, A. (2019). Investigation the nondestructive (ND) method for determination of water absorption parameters and Compressive Strength of concrete lining of irrigation canals. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 20(77), 111-130. (In Persian)
- Cristina Silva, P. , Miguel Ferreira, R, and Figueiras, H. (2011). Electrical Resistivity as a Means of Quality Control of Concrete – Influence of Test Procedure. International conference on durability of building materials and components. Porto. Portugal,1-8.
- IAEA. (2002). Guidbook on non-destructive testing of concrete structures. Austria. International Atomic Energy Agency.
- Malakooti. A. (2017). Investigation of Concrete Electrical Resistivity As a Performance Based Test. All graduate theses and dissertations. *Utah State University*.
- Mehta, P.K. and Moteiro, P.J.M. (2006). Concrete (Microstructure, Properties and Materials), 3th edition. *McGraw-Hill, New York, NY, USA*.
- Ramazanianpour, A.A. and Vosoughi, P. (2013). Lab and Site Investigation on the Relationship of Compressive Strength and other Parameters". *The 9th International Congress of Civil Engineering*, Isfahan University of Technology, 1-9. (In Persian)
- Ramazanianpour, A.A. and Shahnazari, M. R. (1988). Concrete technology in cold and freezing climate. *Elmosanaat publication 110*. (In Persian)
- Siahi, M. K. , Farhadi Hikooei, A., Jafari, A., Nasher, H., Jafari, M. S., Moalemi, M., Dallalzadeh, A. R., Babaei, A. R. , Dasdar, V. and Eghbali, M. (2011). Construction of irrigation canals, Limits and methods. *National committee on irrigation and drainage*. (In Persian)
- Sadr Momtazi, A. and Tahmorsi, B. (2018). Investigating the boundary of aggregate-paste in concretes containing silica and winds ash. *Scientific and Research Journal of Structural Engineering and Construction*, 4,136-154. (In Persian)
- Tadaion, M. (2011). Concrete durability, standards and methods. *1th Workshop on evaluation of concrete quality in irrigation canals lining (methods and standards)*. Jahad Agri. Org. Hamedan. Iran, 101-119. (In Persian).

Research Paper

Evaluation of Durability of Concrete lining in Irrigation Canals by Non-destructive Electrical Resistance Testing at Site

B. Bahramloo* , Gh. Asadian and A. Nasseri

*Corresponding author: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Hamedan, Iran. Email:

Extended Abstract

Introduction

The durability of concrete is defined as its ability to resist weathering action, chemical attack, abrasion, or any other deterioration process to retain its original form, quality, and serviceability when exposed to harsh environment. To a large extent, it is commonly accepted that concrete durability is governed by concrete's resistance to penetration of aggressive media. This media may be present in a liquid or gaseous state and that may be transported by various mechanisms such as permeation, diffusion, absorption, capillary suction, and combinations of the items just mentioned (Azarsa and Gupta, 2017).

Over the last few decades, a great deal of attention has been paid to research and development of electrical resistivity measurement techniques as a nondestructive technique (NDT) to evaluate the durability of concrete structures. Irrigation canals are water structures that transport water supplied from supply sources, such as diversion dams, to the point of consumption for drinking or agricultural purposes. To prevent water seepage losses, the canals beds are lined with various materials such as concrete, stone and sandstone mortar, asphalt, etc. The use of concrete lining in irrigation canals has been more common in Iran and other countries than other materials. Concrete used in irrigation canals is non-reinforced with a thickness of 5 to 10 cm. The basic requirements for good concrete-lined in hardened state are satisfactory compressive strength and sufficient durability. After the implementation of any construction structure, in order to know the desired performance and quality of implementation, it is necessary to evaluate that project. To prevent water seepage in irrigation canals, most of them are lined with concrete materials. Destructive method of core sampling is often used to evaluate the quality of concrete lining in irrigation canals. This is a very costly and time consuming process and requires a great deal of specialized manpower and equipment, while the effects of core damage are not easily remedied. To evaluate executed concrete projects, they are often used using destructive methods and various laboratories are run on them in the laboratory. Although this method achieves relatively real and direct results from the desired parameters, it also has side effects that are sometimes difficult to compensate for. These include project damage, high costs, the need for extensive equipment and equipment, and time consuming, which can sometimes lead to downtime. To prevent these complications, non-destructive testing methods, which are much simpler, faster, and less expensive, can be used if there is evidence of correlation. These include electrical resistance testing, ultrasonic and Schmidt

hammers. Today, non-destructive concrete experiments have a good and practical effect on the repair of concrete structures. Non-destructive concrete experiments, by providing various data on existing structures, allow experts and specialists to judge and decide on the performance, needs and methods of repair and reconstruction of concrete structures.

Methodology

The criterion for evaluating the quality of concrete cover of irrigation canals in different environmental conditions, in practice, is the same as in non-water structures and concrete cover of irrigation canals in the country, the basis of which is the amount of compressive strength and technical criteria, respectively. It is published in 108 (Anon., 2014). In this publication, durable concrete is introduced as concrete that has a relatively high compressive strength and is executed correctly. In this study, in order to establish a relationship between non-destructive electrical resistance tests on site with the parameters of water absorption and compressive strength, which requires destructive testing for their achievement, 13 section from 7 main canals in different study basins were selected in Hamedan province. The electrical resistivity of concrete lining these sections was carried out by using of 4-point Wenner method. The Wenner probe technique was first introduced for the geologist's field in order to determine soil strata by Wenner at the National Bureau of Standards in the 1910s and then modified through time for concrete application. In this technique, four equally spaced linear electrodes are used to measure the surface electrical resistivity of concrete (Figures 1 and 2). The two exterior electrodes apply an AC current to the concrete surface while the electrical potential is measured from the interior probes. It should be noted that DC current is not desirable as it may result in inaccurate readings because of polarization effect. About 12 cores from each canal and totally 156 cores were prepared. In the laboratory, the compressive strength, initial, boiling and capillary water absorption was measured and the relationships between the non-destructive electrical resistivity tests with each of the parameters of laboratory experiments on the cores were investigated.

Results and Discussion

Based on the results, it was found that only 3 of the concrete-lined canals were durable in the cold region and the remainder lacked durability. According to the results of the electrical resistivity values with the compressive strength, the correlation direct correlation of 87% is established, so that due to the non-destructive nature of the electrical resistivity test, it can be used to determine other durability and resistance parameters. The results also indicate that the other parameters of durability of the concrete lining in the studied irrigation canals include initial, boiled and capillary water absorption with a correlation coefficient of 87%, 89% and 85%, respectively, and an indirect exponential relationship with electrical resistance values.

Conclusions

Based on results of this paper, without destructive testing, all of these parameters can be estimated accurately by non-destructive 4-point electrical resistance testing and projects can be evaluated.

Acknowledgement

This research has been supported by Agriculture Engineering Research Iranian (AERI) and Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). The authors are grateful to the AERI and AREEO for their supporting to complete this research.

Keywords: Concrete Lining, Canals, Compressive Strength, Electrical Resistance, Evaluation, Water Absorption.