

تأثیر مقاومت در نفوذپذیری کانال بتنی مورد استفاده برای آبیاری استان قزوین

محمود نادری* (استاد)

دانشکده فنی و مهندسی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

فرهانه محمدی (کارشناس ارشد)

دانشکده فنی و مهندسی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ناکستان

مهندسی عمران شریف، (تابستان ۱۳۹۷)
دربی ۲ - ۳۴، شماره ۲/۲، ص. ۱۴۳-۱۵۰، (پادداشت فنی)

از گذشته، کانال‌های روباز از رایج‌ترین و بهینه‌ترین مقاطع مورد استفاده در سیستم‌های انتقال آب به شمار می‌آیند. در میان روش‌های مختلف انتقال آب، استفاده از نیروی ثقل و به حرکت در آوردن آب به صورت جریان با سطح آزاد به همراه ایجاد کانال‌ها و سازه‌های هیدرولیکی مرتبط، نظیر: سرریزها، دریچه‌ها و ... از متداول‌ترین روش‌ها در آب‌رسانی و آبیاری است. به همین دلیل در بررسی کانال‌ها، نوع آن، مقاومت و نفوذپذیری کانال از جمله موارد مهمی محسوب می‌شوند که برای به کارگیری کانال باید به آن‌ها توجه کرد. به همین دلیل، مطالعاتی برای بررسی کیفیت بتن کانال انجام و از روش‌های «پیچش» و «محفظه‌ی استوانه‌یی»، برای تعیین مقاومت و نفوذپذیری کانال اصلی انتقال آب استان قزوین استفاده شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که بین مقاومت و نفوذپذیری بتن کانال مذکور، در مکان‌ها و سنین مختلف ارتباط معنادار معکوسی وجود دارد.

واژگان کلیدی: کانال، آبیاری، بتن، مقاومت، نفوذپذیری.

profm Mahmoodnaderi@Eng.ikiu.ac.ir
farhan_m_13@yahoo.com

۱. مقدمه

انجام شده است. از موارد استفاده‌ی روش پیچش در مطالعات سال‌های اخیر می‌توان به تعیین مقاومت بتن و ملات تعمیری در بتن خودتراکم،^[۳] تعیین مقاومت بتن سبک ساخته‌شده با سبک‌دانه‌های لیکا، اسکریا و پرلیت،^[۴] تعیین مقاومت چسبندگی صفحات CFRP در برابر تغییر دما، تر و خشک شدن، یخ زدن و آب شدن،^[۵] اثر مقاومت و چسبندگی ورق CFRP در مقاومت نهایی تیرهای بتنی،^[۷] تعیین مقاومت سطحی بتن در سیستم‌های فاضلابی،^[۸] و بررسی مقاومت تیرهای مسلح شده با ورق‌های FRP، اشاره کرد.^[۹]

احداث شبکه‌های آبیاری باعث کاهش تلفات و افزایش بهره‌وری و در عین حال کاهش میزان سرمایه‌گذاری و طولانی‌شدن زمان اجرا می‌شود. کانال‌های آب برای انتقال آب به زمین‌های کشاورزی و آبیاری آن‌ها استفاده می‌شوند. در پروژه‌ها و طرح‌های آبی به منظور تولید محصولات یا افزایش آن، انتقال آب باید براساس یک راندمان قابل قبول سیستم آبیاری انجام پذیرد. در این بین، پوشش کانال‌ها با هدف افزایش مقاومت دیواره‌های خاکی آن‌ها در مقابل آب‌شستگی، کاهش نفوذ و سایر تلفات آب به منظور افزایش راندمان انتقال، امری ضروری است. یکی از پوشش‌های معمول کانال‌های انتقال آب، پوشش بتنی است که به واسطه‌ی عمر متوسط بالا (در حدود ۴۰ سال) و هزینه‌ی نگهداری پایین، از بهترین نوع پوشش‌ها به‌شمار می‌رود.^[۱]

۲. معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

استان قزوین با مساحتی معادل ۱۵۸۲۱ کیلومتر مربع بین ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۲۶٫۵ درجه و ۵۰ دقیقه‌ی طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه‌ی عرض شمالی در حوزه‌ی مرکزی و در دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز و در قسمت‌های شمالی، غربی و جنوبی کوهستانی واقع است و قسمت‌های مرکزی و شرق آن را دشت تشکیل می‌دهد.^[۱۰]

با توجه به محدودیت‌های موجود در منابع آبی کشور و همچنین نقش اساسی کانال‌ها در انتقال آب، شناخت عوامل مخرب پوشش‌ها و کانال‌های انتقال آب ضروری است. همچنین به دلیل تقاضای فزاینده‌ی مصرف آب و محدودیت منابع آب تجدیدشونده، عواملی مانند: تعیین نفوذپذیری جهت بررسی دوام و کارایی و قابل استفاده بودن پوشش بتنی و تعیین درجای مقاومت بتن جهت تصمیم‌گیری در انجام تقویت، مقاوم‌سازی، ارزیابی و تعمیر سازه‌ها، اهمیت بسیار زیادی دارد. مطالعات متعددی در زمینه‌ی کاربرد روش «پیچش» در تعیین مقاومت درجا بتن

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۵/۴/۲۶، اصلاحیه ۱۳۹۵/۶/۲۳، پذیرش ۱۳۹۵/۸/۱۷.

DOI:10.24200/J30.2018.1365

۳. کانال‌های شبکه‌ی آبیاری

شبکه‌ی آبیاری و زهکشی دشت قزوین جمعاً به طول کلی کانال‌ها ۱۰۴۷ کیلومتر

جدول ۱. مشخصات هیدرولیکی کانال اصلی قزوین. [۱۱]

از کیلومتر	تا کیلومتر	موقعیت محلی	بخش (sec.)	ارتفاع کانال (m)	ارتفاع آب‌خور (m)	عرض عرض کف (m)	عرض عرض بالایی کانال (m)	عرض عرض آب‌خور (m)	شیب شیب طولی (%)	سطح سطح مقطع (m ²)	محیط (m)	سرعت جریان (m/s)	دبی (m ³ /s)
۰+۰۰۰	۳+۴۴۵	-	-	۳	۲٫۵	۴	۴	۴	۱٫۵	۱۰	۹	۳	۳۰
۳+۴۴۵	۱۱+۴۸۱	زیاران	۱	۳٫۲	۲٫۷	۳٫۲	۱۲٫۸	۱۱٫۳	۰٫۲۷	۱۹٫۵۸	۱۵٫۲	۱٫۵۵	۳۰
۱۱+۴۸۱	۱۹+۶۸۰	بهجت‌آباد	۲	۳	۲٫۵	۳٫۲	۱۲٫۲	۱۰٫۷	۰٫۳۴	۱۷٫۳۷	۱۴٫۴	۱٫۶۶	۲۸٫۴
۱۹+۶۸۰	۲۹+۲۰۲	شهیدرجایی	۳	۲٫۸۵	۲٫۴	۳٫۲	۱۱٫۷۵	۱۰٫۴	۰٫۳۴	۱۶٫۳۲	۱۳٫۸۸	۱٫۶۳	۲۶٫۵
۲۹+۲۰۲	۳۸+۵۶۸	حصار خروان	۴	۲٫۵۵	۲٫۱	۳٫۲	۱۰٫۸۵	۹٫۵	۰٫۳۴	۱۳٫۳۴	۱۲٫۸	۱٫۵۲	۱۹٫۸۵
۳۸+۵۶۸	۴۵+۹۱۰	مهرگان	۵	۲٫۵۵	۲٫۱	۲٫۲	۹٫۸۵	۸٫۵	۰٫۴۲	۱۱٫۲۴	۱۱٫۸	۱٫۶	۱۸
۴۵+۹۱۰	۵۱+۴۳۳	نجف‌آباد	۶	۲٫۴	۱٫۹۵	۲٫۲	۹٫۴	۸٫۰۵	۰٫۴۵	۱۰	۱۱٫۲۶	۱٫۶	۱۶
۵۱+۴۳۳	۶۲+۰۰۰	قزوین	۷	۲٫۵	۱٫۶۸	۲٫۲	۸٫۳۵	۷٫۲۴	۰٫۵۶	۷٫۹۳	۱۰	۱٫۶۴	۱۳
۶۲+۰۰۰	۶۸+۸۰۵	ناصرآباد	۸	۱٫۸۷	۱٫۵۲	۲٫۲	۷٫۸۱	۶٫۷۶	۰٫۶	۶٫۸۱	۹٫۴	۱٫۶۲	۱۱
۶۸+۸۰۵	۷۳+۶۳۰	محمودآباد	۹	۱٫۸	۱٫۴۵	۲٫۲	۷٫۶	۶٫۵۵	۰٫۶	۶٫۳۴۴	۹٫۱	۱٫۵۸	۱۰
۷۳+۶۳۰	۷۸+۱۵۰	نظام‌آباد	۱۰	۱٫۵۲	۱٫۲	۱٫۵	۶٫۰۶	۵٫۱	۰٫۷۵	۳٫۹۶	۷٫۲۸	۱٫۵۱	۶
۷۸+۱۵۰	۸۳+۱۵۰	دولت‌آباد	۱۱	۱٫۴	۱٫۱	۱٫۵	۵٫۷	۴٫۸	۰٫۷۵	۳٫۴۶۵	۶٫۸	۱٫۴۵	۵
۸۳+۱۵۰	۸۵+۸۷۰	قمیک	۱۲	۱٫۳	۱٫۰۲	۱٫۲	۵٫۱	۴٫۲۶	۰٫۸۵	۲٫۷۸۵	۶٫۱۸	۱٫۴۴	۴
۸۵+۸۷۰	۹۴+۰۴۱	کهنک	۱۳	۱٫۱۵	۱٫۰۹	۱٫۲	۴٫۶۵	۳٫۸۷	۰٫۸۵	۲٫۲۵۶	۵٫۷	۱٫۳۳	۳

فشاری نمونه‌ی بتنی به کمک دستگاه بتن‌شکن و روش درجای پیچش تعیین و رابطه‌ی بین آن‌ها و میزان همبستگی بررسی شد. از بررسی آزمایش‌های وسیعی که در تعیین مقاومت در جای بتن با استفاده از روش مذکور و دیگر روش‌های استاندارد صورت گرفته است، مشخص شد که یک همبستگی تقریبی خطی به میزان $R^2 = ۰٫۹۷۲۲$ به معادله‌ی $y = ۰٫۲۷۵x$ (y مقاومت فشاری بتن بر حسب مگاپاسکال و x گشتاور پیچشی بر حسب نیوتن در متر) میان مقاومت فشاری بتن و مقاومت حاصل از روش پیچش وجود دارد، به طوری که مقاومت فشاری، با یک تابع تقریبی خطی از مقاومت پیچشی نهایی وارد شده متناظر است. بنابراین با در اختیار داشتن مقاومت حاصل از روش پیچش و مراجعه به نمودارهای واسنجی مطابق با رابطه‌ی قیدشده می‌توان مقاومت فشاری بتن را با دقت بسیار بالایی اندازه‌گیری کرد. [۱۴]



شکل ۱. دستگاه پیچش.

متشکل از ۵۱۹ شاخه کانال اصلی و کانال‌های درجه ۱، ۲، ۳ و ۴ است. کانال اصلی به طول ۹۳٫۸ کیلومتر است.

۴. مشخصات هیدرولیکی کانال اصلی

در جدول ۱، مشخصات هیدرولیکی کانال مادر دشت قزوین، شامل: دبی، ارتفاع کانال، عرض کف، عرض بالا، طول جداره، شیب جداره و ... جمع‌آوری شده است. [۱۱]

۵. تعیین مقاومت بتن

روش‌های متعددی برای آزمایش بتن در سازه ابداع شده است که براساس احتمال آسیب‌رسانی به سازه به ۳ گروه: غیرمخرب، نیمه مخرب و مخرب تقسیم می‌شوند. [۱۲] در جدول ۲، آزمایش‌های تعیین مقاومت بتن با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

۱.۵. تعیین مقاومت درجا به روش «پیچش»

روش جدید «پیچش» در سال ۲۰۰۵ ابداع شد. [۱۳] روش مذکور در مجموعه‌ی آزمایش‌های نیمه مخرب (با خرابی جزئی) قرار دارد و دستگاه آزمایش بسیار ساده‌ی دارد و در آن عوامل بسیاری که موجب پراکندگی نتایج می‌شوند، حذف شده‌اند. دستگاه آزمایش روش پیچش (شکل ۱) در عین سادگی، دقت بالایی دارد. همچنین ضریب تغییرات به دست آمده از نتایج بر روی یک نمونه بسیار ناچیز است. سرعت انجام آزمایش بالا و هزینه‌ی انجام آن ناچیز و قابلیت تکرار زیاد است. به منظور صحت‌سنجی مقاومت فشاری حاصل از روش پیچش، مقاومت

جدول ۲. مقایسه‌ی آزمایش‌های تعیین مقاومت بتن. [۱۲]

نوع آزمایش	محاسن	معایب
غیرمخرب	- هزینه‌ی کم - سریع - تکرارپذیر	- دقت نتایج رضایت‌بخش نیست - اغلب نیاز به تخصص دارد
نیمه‌مخرب (با خرابی جزئی)	- سرعت نسبتاً خوب - هزینه‌ی کم - دقت نتایج قابل قبول	- نیاز به ترمیم قسمت تخریب‌شده دارد
مخرب	- نتایج مطلوب	- از بین رفتن عضو مورد آزمایش - هزینه‌ی بالا - وقت‌گیر بودن

۱.۱.۵. روش انجام آزمون «پیچش»

مراحل انجام آزمون مقاومت درجا به روش «پیچش» به این صورت است:

۶. تعیین نفوذپذیری با روش «محفظه‌ی استوانه‌یی»

روش محفظه‌ی استوانه‌یی که در سال ۲۰۱۱ ابداع شده است، روشی دقیق با کاربردی گسترده در تعیین میزان نفوذپذیری بتن و سایر مصالح ساختمان در محیط آزمایشگاهی و محل پروژه است. [۱۶] این دستگاه با نام «سیلندریکال چمبر»^۱ یا «محفظه‌ی استوانه‌یی» شناخته شده است. مطالعاتی در مورد صحت‌سنجی استفاده از روش مذکور انجام شده است. از جمله، در پژوهشی در سال ۱۳۹۳، به مقایسه‌ی نفوذپذیری بتن به روش‌های استاندارد (ASTM, BS, ISIRI, ...) و روش محفظه‌ی استوانه‌یی پرداخته و نشان داده شده است که تعیین نفوذپذیری به روش ذکرشده بسیار به روش BS نزدیک است و استفاده از آن قابل اطمینان است. [۱۷]

- آماده‌سازی و پرداخت سطح بتن و استوانه‌های فلزی با استفاده از کاغذ سنباده به گونه‌یی که فاقد هرگونه آلودگی (روغن، گرد و غبار و ...) باشد.
- آماده‌سازی چسب‌های اپوکسی با اختلاط نسبت‌های توزین‌شده، به طوری که چسب حاصل به صورت مخلوطی همگن باشد.
- اعمال چسب با ضخامت یکنواخت بر روی سطح زیرین استوانه‌های فلزی.
- قرار دادن استوانه‌های فلزی بر روی سطح بتن با فاصله‌ی کمینه به اندازه‌ی قطر استوانه‌ها.

۱.۱.۶. روش انجام آزمون نفوذپذیری

در بخش حاضر، مراحل انجام آزمون نفوذپذیری با روش «محفظه‌ی استوانه‌یی» (شکل ۲) به صورت ساده و گویا ارائه شده است:

- تمیزکردن چسب اضافی از اطراف استوانه‌های فلزی.
- مراقبت از بتن، جهت سپری شدن زمان عمل‌آوری چسب.
- قرار دادن آچار پیچشی سنج بر روی استوانه‌ی فلزی و اعمال نیروی پیچشی به صورت یکنواخت و افقی تا مرز گسیختگی (در پژوهش حاضر از یک آچار پیچش دستی دقیق با دقت ۵ پوند. فوت (lbf) و ظرفیت نهایی ۳۰۰ (lbf)(۴۰۶٫۷۵ kNm) استفاده شده است).
- گزارش اعداد قرائت‌شده حاصل از اعمال نیروی پیچشی و نوع شکست استوانه از سطح بتن.

- سطح بتن با استفاده از سنباده از آلودگی و گرد و غبار پاک شود.
- صفحه‌ی زیر سری به کمک چسب اپوکسی به سطح بتن چسبانده شود.
- پس از گیرش نهایی چسب، قسمت فوقانی دستگاه شامل محفظه‌ی فشاری و گیج اندازه‌گیری فشار بر روی صفحه‌ی زیر سری نصب شود.
- پیستون به کمک دستگیره، به بالاترین موقعیت خود قرار گیرد.
- شیر تخلیه‌ی هوا باز و محفظه کاملاً از آب پر شود.
- پس از اطمینان از پرشدن کامل آب در محفظه، شیر تخلیه‌ی هوا بسته و فشار دستگاه به کمک چرخاندن دستگیره افزایش داده شود.
- فشار آب داخل دستگاه را به ۰٫۵ بار رسانده و میکرومتر در مکان موردنظر بر روی عدد صفر نصب شود.
- هم‌زمان با بیچاندن دسته‌ی تنظیم فشار به منظور رسیدن به فشار موردنظر (۵ بار) به کمک میکرومتر متصل به دستگاه، میزان نفوذ آب به داخل بتن در زمان‌های مقرر قرائت شود.

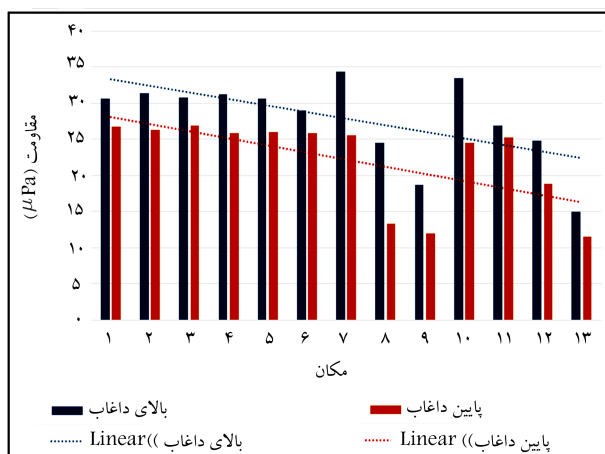
گستره‌ی کاربرد روش نفوذپذیری، شامل این موارد است:

استفاده از روش پیچش نیاز به مهارت و برنامه‌ریزی برای تکنسین آزمایش ندارد و محدودیت ابعاد نمونه هم تأثیری در روند آزمایش ندارد. همچنین براساس آزمایش‌های انجام‌گرفته، روش مذکور انعطاف‌پذیری بسیار زیادی دارد، به طوری که می‌توان با دقت بسیاری از آن در تعیین مقاومت فشاری مصالح سازه‌یی گوناگونی، نظیر: آجر، ملات، و... نیز استفاده کرد. [۱۵، ۱۲]

محدودیت روش پیچش در زمان عمل‌آوری چسب به کار رفته است که البته محدودیت‌های ذکرشده با توجه به پیشرفت‌های زیادی که چسب‌ها در صنعت ساختمان داشته‌اند، حذف شده است. [۱۲]

جدول ۳. میانگین مقاومت در بالا و پایین داغاب.

مکان	میانگین مقاومت (مگاپاسکال)	
	پایین داغاب	بالای داغاب
۱	۲۶,۸۴	۳۰,۶۹
۲	۲۶,۳۴	۳۱,۴۴
۳	۲۶,۹۶	۳۰,۸۲
۴	۲۵,۸۵	۳۱,۳۱
۵	۲۶,۰۹	۳۰,۶۹
۶	۲۵,۸۵	۲۹,۰۸
۷	۲۵,۶۰	۳۴,۴۲
۸	۱۳,۲۹	۲۴,۶۰
۹	۱۲,۰۵	۱۸,۷۶
۱۰	۲۴,۶۰	۳۳,۵۵
۱۱	۲۵,۲۲	۲۶,۹۶
۱۲	۱۸,۸۹	۲۴,۸۵
۱۳	۱۱,۵۵	۱۴,۹۱



شکل ۳. نمودار مقایسه‌ی میانگین مقاومت در بالا و پایین داغاب بتن کانال در کل مسیر.

در سطح کانال، به طور میانگین بین ۱۴ تا ۳۴ مگاپاسکال و در پایین داغاب بین ۱۲ تا ۲۶ مگاپاسکال بوده است.

مقاومت فشاری بتن کانال در بالای داغاب در تمامی مکان‌ها از مقاومت فشاری بتن در پایین داغاب بیشتر بوده است. علت پایین بودن مقاومت در پایین داغاب نسبت به بالای داغاب را می‌توان به دلیل حمله‌ی سولفات‌ها، کلرورها و باکتری‌های موجود در آب همچنین کربناتی شدن بتن، واکنش قلیایی، یخ‌زدگی و ذوب متوالی، فرسایش، و سایش و نفوذ نمک در بتن دانست.

بیشترین مقاومت درجا بالای داغاب مربوط به مکان شماره‌ی ۷ با مقدار ۳۴ مگاپاسکال و کمترین آن مربوط به مکان شماره‌ی ۱۳ با مقاومت ۱۴ مگاپاسکال است. همین‌طور بیشترین مقاومت پایین داغاب مربوط به مکان شماره‌ی ۳ با مقدار ۲۶ مگاپاسکال در شرق سیستم شبکه‌ی آبیاری و کمترین آن مربوط به مکان شماره‌ی ۱۳ با مقاومت ۱۱ مگاپاسکال در غرب سیستم شبکه‌ی آبیاری است. همین‌تایج به صورت نمودار در شکل ۳ نشان داده شده‌اند، تا مقایسه‌ی آن‌ها را



شکل ۲. دستگاه تعیین نفوذپذیری.

- تعیین میزان نفوذپذیری به صورت کمی،
- تعیین رابطه‌ی نفوذپذیری با مقاومت،
- ارزیابی نفوذپذیری درجای سازه‌ها،
- قابلیت کاربرد در تمام نقاط سازه و اماکن‌هایی که امکان نمونه‌برداری وجود ندارد،
- قابلیت استفاده برای تعیین نفوذپذیری سایر مصالح ساختمانی، مانند: سنگ، ملات، سفال و آجر.

از جمله امتیازهای روش نفوذپذیری می‌توان به این موارد اشاره کرد:

- سادگی در اجراء دستگاه و کار با آن،
- سرعت، دقت و تکرارپذیری بالای انجام آزمون،
- تعیین نفوذپذیری به صورت کمی،
- قابلیت حمل به سخت‌ترین مکان‌ها،
- بی‌نیازی به تکنسین و فرد ماهر،
- عدم محدودیت در ابعاد نمونه‌ها. [۱۶]

۷. انتخاب محل بررسی

مطابق با جدول ۱، مشخصات هیدرولیکی کانال اصلی از اداره‌ی آب منطقه‌ی استان قزوین تهیه شد. به طوری که در فواصل مشخصی از کیلومتر در طول مسیر امتدادی کانال، ابعاد و دبی آن با تغییراتی مواجه بوده است. بر همین مبنا به ازاء هر تغییر ابعادی و شرایط محیطی در ۱۳ منطقه‌ی مشخص، آزمون پیچش در بالا و پایین داغاب انجام شد. در هر منطقه، ۳ آزمون پیچش در فاصله‌ی میانی جداره از کف کانال صورت گرفت. همچنین آزمون نفوذپذیری در پایین داغاب برای همان ۱۳ منطقه‌ی مذکور و ۳ آزمون نفوذپذیری در بالای داغاب در مکان‌های ۲، ۶ و ۱۳ انجام شد.

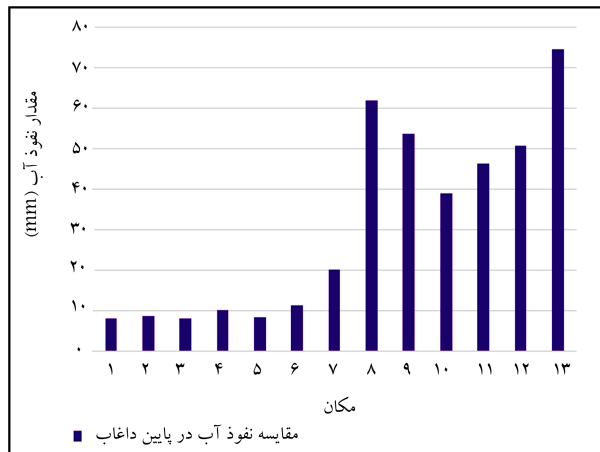
۸. نتایج انجام آزمون پیچش برای تعیین مقاومت بتن

نتایج میانگین مقاومت بتن در بالا و پایین داغاب کانال در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشخص است، مقاومت‌های اندازه‌گیری شده در بالای داغاب

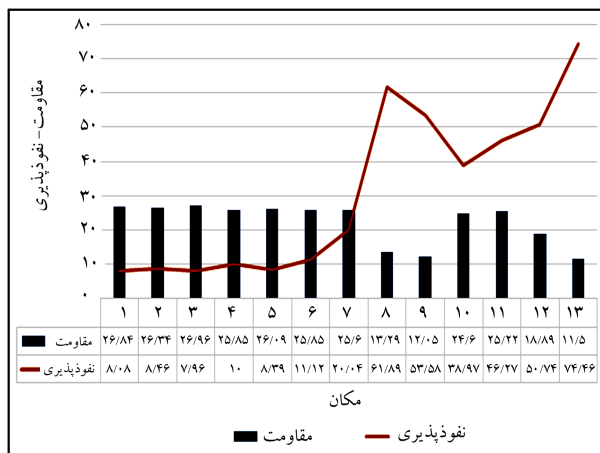
به مکان شماره ۱۳ در غرب شبکه‌ی آبیاری و کمترین آن با مقدار ۷ میلی‌لیتر مربوط به مکان شماره ۳ در شرق سیستم آبیاری است. همین نتایج به صورت نمودار در شکل ۴ نشان داده شده‌اند تا روند تغییرات، ساده‌تر شود.

مطابق با مواردی که در بخش آزمون پیچش در مورد کاهش کیفیت بتن خصوصاً به سمت غرب شبکه‌ی آبیاری بحث شد، مطابق شکل ۴ ملاحظه می‌شود که مقدار نفوذ آب در پایین داغاب سطح بتن از قسمت شرقی شبکه‌ی آبیاری به سمت غرب شبکه (از آبیگ به سمت تاکستان) افزایش یافته است. همچنین بین مقاومت و نفوذپذیری در بتن ارتباط معنی‌دار معکوسی وجود دارد. چرا که مقدار مقاومت فشاری از قسمت شرق به غرب شبکه، رو به کاهش بوده است، در حالی که مقدار نفوذ آب در بتن افزایش یافته است. ارتباط بین مقاومت و نفوذپذیری در مکان‌ها در شکل ۵ ترسیم شده است. همچنین شکل‌های ۶ و ۷ نتایج حاصل از آزمون نفوذپذیری در بالای داغاب را برای مکان‌های شماره ۲، ۶ و ۱۳ نشان می‌دهد.

با بررسی شکل‌های مذکور مشاهده می‌شود که مقدار نفوذ آب در بالای داغاب از قسمت شرقی شبکه‌ی آبیاری به سمت غرب شبکه (از آبیگ به سمت تاکستان) افزایش یافته است. مقدار نفوذ آب با ۱۲۱ میلی‌لیتر از مکان ۱۳، بیشترین و مقدار نفوذ آب با ۱۶ میلی‌لیتر در مکان ۲، کمترین مقادیر در بالای داغاب هستند. نتایج



شکل ۴. نمودار مقایسه‌ی مقدار نفوذ آب برحسب میلی‌لیتر در پایین داغاب بتن کانال، پس از ۳۰۰ دقیقه.



شکل ۵. نمودار ارتباط بین مقاومت و نفوذپذیری در مکان‌ها در پایین داغاب بتن کانال.

ساده‌تر کند. با توجه به اینکه مسیر مورد مطالعه بالغ بر ۹۳ کیلومتر بوده است، مسلماً زمان و شرایط بتن‌ریزی آن یکسان نخواهد بود. بنابراین یکسان نبودن طرح اختلاط، انتقال بتن، تراکم، عمل‌آوری، نوع بهره‌برداری و میزان در دسترس بودن کانال برای کشاورزان و از همه مهم‌تر شرایط محیطی، همچون آب و هوا (سیکل‌های یخبندان، میزان رطوبت، تبخیر، وزش باد و جمع‌شدگی حاصل از خشک شدن بتن و ...) می‌تواند دلیلی برای پراکندگی در مقدار مقاومت‌های به دست آمده باشد. اما به طور میانگین از قسمت شرقی شبکه‌ی آبیاری به سمت غرب شبکه (از آبیگ به سمت تاکستان) مقاومت بتن کانال کاهش یافته است. در صورتی که کانال انتقال آب از دسترس کشاورزان به دور باشد، به گونه‌ی که نتوانند بهره‌برداری غیرمجاز و فرایند آب‌کشی با پمپاژ داشته باشند، آن منطقه از نظر میزان مقاومت، وضعیت بهتری دارد. همچنین می‌توان اظهار داشت در طول مسیر کانال انتقال آب، مناطقی که در نزدیکی جاده‌ی اصلی (آزادراه تهران - قزوین، قزوین - رشت) و یا کارخانه‌ها و نیروگاه قرار دارند، به دلیل تأثیر دی‌اکسیدکربن در بتن، وضعیت چندان مناسبی ندارند.

۹. نتایج انجام آزمون نفوذپذیری

آزمون نفوذپذیری مطابق با روشی که در بخش پیش عنوان شد، در مکان‌های مقرر انجام و نتایج آن بر روی بتن کانال اصلی در بالا و پایین داغاب در جدول ۴ ارائه شده و نتایج مندرج در آن، بیان‌گر نفوذ مقدار آب در مدت ۳۰۰ دقیقه به داخل بتن در محل انجام آزمون است.

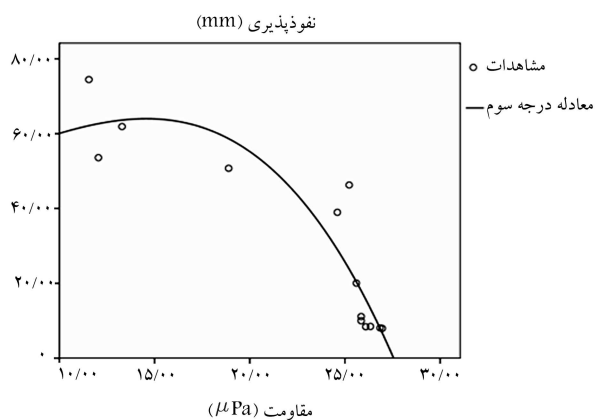
از نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که میزان نفوذ آب در سطح بتن کانال انتقال آب شهر قزوین دامنه‌ی وسیعی دارد، به طوری که مقدار نفوذ بین ۷ تا ۷۴ میلی‌لیتر در پایین داغاب و ۱۶ تا ۱۲۱ میلی‌لیتر در بالای داغاب متغیر است. بیشترین نفوذپذیری در بتن کانال، برای پایین داغاب با مقدار ۷۴ میلی‌لیتر مربوط

جدول ۴. مقدار نفوذ آب به داخل بتن کانال پس از ۳۰۰ دقیقه به میلی‌لیتر.

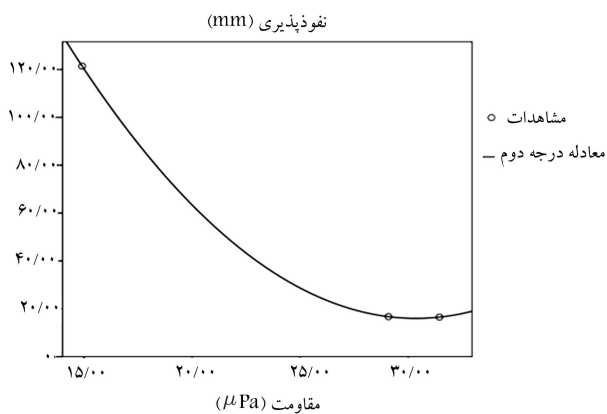
مکان	مقدار نفوذ (میلی‌متر)	
	پایین داغاب	بالای داغاب
۱	۸/۰۸	*
۲	۸/۴۶	۱۶/۵۴
۳	۷/۹۶	*
۴	۱۰	*
۵	۸/۳۹	*
۶	۱۱/۱۲	۱۶/۳۷
۷	۲۰/۰۴	*
۸	۶۱/۸۹	*
۹	۵۳/۵۸	*
۱۰	۳۸/۹۷	*
۱۱	۴۶/۲۷	*
۱۲	۵۰/۷۴	*
۱۳	۷۴/۶۶	۱۲۱/۴۰



شکل ۸. حجم رسوبات بر روی جداره کانال.

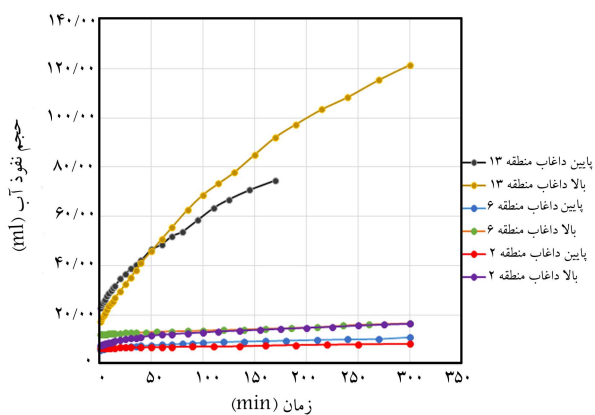


شکل ۹. نمودار بهترین خط برازش داده شده در بین مقاومت و نفوذپذیری بتن کانال در پایین داغاب.

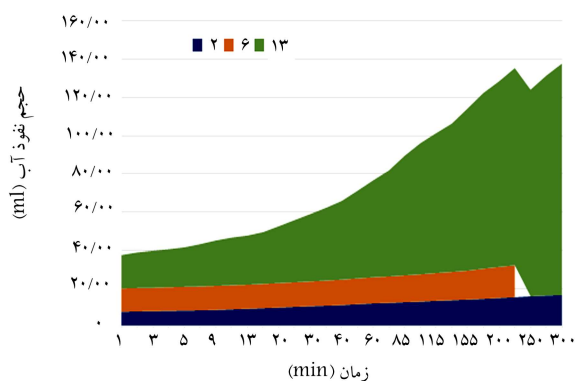


شکل ۱۰. نمودار بهترین خط برازش داده شده در بین مقاومت و نفوذپذیری بتن کانال در بالای داغاب.

شکل‌های ۹ و ۱۰، به ترتیب نمودار خط برازش داده شده بین مقاومت و نفوذپذیری از بتن کانال را در پایین و بالای داغاب نشان می‌دهد. از بین معادلات همبستگی ارائه شده تابع درجه ۳ با $Sig.F = 0,000$ و ضریب همبستگی $0,845$ بهترین معادله‌ی خطی برازش شده بین میانگین مقاومت و نفوذپذیری در پایین داغاب بتن کانال و همچنین تابع درجه ۲ بدون $Sig.F$ با ضریب همبستگی



شکل ۶. نمودار مقایسه‌ی مقدار نفوذ آب در بالای داغاب نسبت به پایین داغاب بتن کانال در مکان‌های ۲، ۶ و ۱۳.



شکل ۷. نمودار مقایسه‌ی مقدار نفوذ آب در بالای داغاب بتن کانال در بین مکان‌های ۲، ۶ و ۱۳.

حاصل از نفوذپذیری بتن در پایین داغاب مقادیر کمتری را نسبت به بالای داغاب نشان می‌دهد. چرا که بخش‌های بالای داغاب که در سیکل تر و خشک شدن و ضربات اجسام شناور قرار می‌گیرند، ضعیف‌ترند. از آنجا که بیشتر مسیر انتقال آب در راستای مستقیمی بدون انحناء امتداد دارد، مسدود شدن خلل و فرج سطح بتن با رسوبات موجود در آب از دیگر عوامل مؤثر بر این نتیجه است. می‌توان مشاهده کرد که رسوبات حاصل در بخش زیر داغاب به‌عنوان لایه‌ی محافظتی در برابر نفوذپذیری مفید واقع شده‌اند. در شکل ۸، تصویری از حجم رسوبات مشاهده می‌شود.

۱۰. تحلیل آماری نتایج با به‌کارگیری نرم‌افزار SPSS

با استفاده از نرم‌افزار SPSS، رابطه‌ی همبستگی بین میانگین نتایج به‌دست آمده از تعیین مقاومت و نفوذپذیری بتن کانال، در پایین و بالای داغاب برای مکان‌های مختلف محاسبه شده است. در جدول‌های ۵ و ۶، معادلات همبستگی در پایین و بالای داغاب ارائه شده است. از واژه‌ی Permeability به‌عنوان نفوذپذیری و از عبارت Strength به‌عنوان مقاومت استفاده شده است. در سطح اطمینان ۹۵٪ یا به عبارتی در سطح معنی‌داری ۵٪ ملاحظه می‌شود که مقدار $Sig.F$ در تمام معادلات برازش شده، کمتر از $0,05$ است. بنابراین بین دو کمیت میانگین مقاومت و نفوذپذیری در $0,05$ دقیقه داده‌های پایین و بالای داغاب هر مکان همبستگی وجود دارد.

جدول ۵. مقایسه‌ی معادلات همبستگی (بین میانگین مقاومت و نفوذپذیری پایین داغاب در بتن کانال).

نوع تابع	R^2	معادله	Sig.F
خطی	۰٫۷۸۰	Permeability = -۳٫۵۵۵ strength + ۱۰۹٫۸۲۸	۰٫۰۰۰
لگاریتمی	۰٫۷۵۱	Permeability = -۶۴٫۱۵۱ ln (strength) + ۲۲۶٫۹۴۹	۰٫۰۰۰
معکوس	۰٫۷۱۹	Permeability = ۱۰۹۲٫۹۶۷ (strength) - ۲۳٫۴۷۳	۰٫۰۰۰
درجه ۲	۰٫۸۳۵	Permeability = -۰٫۳۵۸ strength ² + ۱۰٫۲۹۷ strength - ۹٫۰۴۲	۰٫۰۰۰
درجه ۳	۰٫۸۴۵	Permeability = -۰٫۰۱۱ strength ³ + ۰٫۲۳۸ strength ² - ۱۹٫۹۵۲ strength + ۴۷٫۱۹۵	۰٫۰۰۰
نمایی	۰٫۶۵۷	permeability = e ^{۰٫۱۲۲ strength + ۳۲۶٫۹۱۲}	۰٫۰۰۱

جدول ۶. مقایسه‌ی معادلات همبستگی (بین میانگین مقاومت و نفوذپذیری بالای داغاب در بتن کانال).

نوع تابع	R^2	معادله	Sig.F
خطی	۰٫۹۸۳	Permeability = -۶٫۷۰۸ strength + ۲۲۰٫۲۰۸	۰٫۰۸۳
لگاریتمی	۰٫۹۹۱	Permeability = -۱۴۶٫۸۵۶ ln (strength) + ۵۱۷٫۵۸۸	۰٫۰۶۰
معکوس	۰٫۹۹۶	Permeability = ۳۰۷۰٫۹۰۱ (strength) - ۸۴٫۸۵۶	۰٫۰۴۱
درجه ۲	۱	Permeability = ۰٫۴۴۲ strength ² - ۲۶٫۸۳۰ strength + ۴۲۳٫۱۷۹	-
درجه ۳	۱	Permeability = ۰٫۰۰۶ strength ³ - ۱۶٫۱۸۵ strength + ۳۴۳٫۳	-
نمایی	۰٫۹۸۴	permeability = e ^{۰٫۱۲۷ strength + ۷۹۲٫۲۲۵}	۰٫۰۸۱

پایین داغاب با مقدار ۷۴ میلی‌لیتر مربوط به مکان شماره ۱۳ در غرب شبکه‌ی آبیاری و کمترین آن با مقدار ۷ میلی‌لیتر مربوط به مکان شماره ۳ در شرق سیستم آبیاری است. همچنین مقدار نفوذ آب با ۱۲۱ میلی‌لیتر از مکان ۱۳، بیشترین و مقدار نفوذ آب با ۱۶ میلی‌لیتر در مکان ۲، کمترین مقادیر در بالا داغاب هستند.

- مقدار نفوذپذیری بتن کانال از قسمت شرقی شبکه‌ی آبیاری به سمت غرب شبکه (از آبیگ به سمت تاکستان) افزایش و مقاومت آن کاهش یافته است.
- مقاومت بتن کانال در بالای داغاب در تمامی مکان‌ها از مقاومت فشاری بتن در پایین داغاب بیشتر و نفوذپذیری بتن کانال در بالای داغاب در تمامی مکان‌ها از نفوذپذیری بتن در پایین داغاب بیشتر است.
- بتن پایین داغاب به دلیل مسدود شدن با رسوب‌های حاصل از آب، نفوذپذیری کمتری نسبت به بالای داغاب دارد.
- علت پایین بودن مقاومت در پایین داغاب نسبت به بالای داغاب را می‌توان به دلیل حمله‌ی سولفات‌ها، کلرورها و باکتری‌های موجود در آب، همچنین کربناتی شدن بتن، واکنش قلیایی، یخ‌زدگی و ذوب متوالی، فرسایش و سایش و نفوذ نمک در بتن دانست.
- با توجه به خروجی‌های نرم‌افزار SPSS، بین دو کمیت میانگین مقاومت و نفوذپذیری داده‌های پایین داغاب در هر مکان همبستگی از نوع تابع درجه سوم وجود دارد. همچنین بین میانگین مقاومت و نفوذپذیری در بالای داغاب در توابع معکوس، درجه دوم و سوم، همبستگی با سطح معنی‌داری ۰٫۵٪ از نوع تابع درجه دوم وجود دارد.

۱) بهترین معادله‌ی خطی برازش شده بین میانگین مقاومت و نفوذپذیری در بالای داغاب بتن کانال انتخاب می‌شود.

۱۱. نتایج

از نتایج به دست آمده و تحلیل آن‌ها می‌توان این یافته‌ها را بیان کرد:

- مقاومت و نفوذپذیری بتن کانال بالای داغاب به دلیل یکسان نبودن طرح اختلاط، انتقال بتن، تراکم، عمل‌آوری، نوع بهره‌برداری و ... در تمامی مقاطع، مقادیر یکسانی ندارند.
- مقاومت‌های اندازه‌گیری شده در بالای داغاب در سطح کانال، به طور میانگین بین ۱۴ تا ۳۴ مگاپاسکال و در پایین داغاب بین ۱۲ تا ۲۶ مگاپاسکال است. همچنین بیشترین مقاومت درجا بالا داغاب مربوط به مکان شماره ۷ با مقدار ۳۴ مگاپاسکال و کمترین آن مربوط به مکان شماره ۱۳ با مقاومت ۱۴ مگاپاسکال است. همین‌طور بیشترین مقاومت پایین داغاب مربوط به مکان شماره ۳ با مقدار ۲۶ مگاپاسکال در شرق سیستم شبکه‌ی آبیاری و کمترین آن مربوط به مکان شماره ۱۳ با مقاومت ۱۱ مگاپاسکال در غرب سیستم شبکه‌ی آبیاری است.
- میزان نفوذ آب در سطح بتن کانال انتقال آب شهر قزوین دامنه‌ی وسیعی دارد، به طوری که مقدار نفوذ بین ۷ تا ۷۴ میلی‌لیتر در پایین داغاب و ۱۶ تا ۱۲۱ میلی‌لیتر در بالای داغاب متغیر است. بیشترین نفوذپذیری در بتن کانال، برای

1. cylindrical chamber

(References) منابع

1. Waller, P. and Yitayew, M., *Open Channel Flow, Irrigation and Drainage Engineering*, Springer International Publishing (2016).
2. Naderi, M. and Ghoddoosian, O. "Assessing the adhesion of self-compacting concrete and mortar applied to different concrete surfaces, using TWIST-OFF and friction-transfer methods, and its estimation by fuzzy logic", *Journal of Civil Engineering*, **23**(1), pp. 97-110 (2012).
3. Naderi, M. and Ghoddoosian, O. "Estimation of In-situ strength of self-compacting concrete and mortars on different concrete substrate conditions using TWIST-OFF method, fuzzy logic and artificial neural", *Journal Concrete Reserch*, **5**(1), pp. 79-90 (2012).
4. Naderi, M. and Bonyadi, A. "Comparison of mix-design and compressive strengths of leca, scoria and perlite lightweight concretes with using twist-off method", *Ferdosi Journal of Civil Engineering*, **23**(2), pp. 0-23 (2012).
5. Naderi, M. and Hajinasri, S.A. "Using twist-off method for measuring CFRP/concrete adhesion when exposed to cyclic temperature changes, wet-dry and freeze-thaw", *The Journal of Adhesion*, **89**(7), pp. (2013).
6. Naderi, M. and Hajinasri, S.A. "Determination of bond strength of CFRP sheets, exposed to temperature Cchanges, wetting and drying, and freeze-thaw cycles, using twist-off method", *Ferdosi Journal of Civil Engineering*, **26**(2), pp. 131-150 (2015).
7. Naderi, M. and Khonsari, A. "The Effect of concrete strength and its bond to CFRP sheets on the ultimate strength of concrete beams", *Journal of Civil Engineering*, **26**(2), pp. 33-46 (2015).
8. Naderi, M. and Roostaei, H. "Estimation of concrete strength in sewer systems", *Journal of Water and Wastewater*, **4**, pp. 51-64 (2015).
9. Naderi, M. and Tabatabaei, S.V. "Effect of concrete and bond strength on the behavior of RC beams retrofitted with FRP sheets", *Advances in Environmental Biology*, **7**(9), pp. 2259-2269 (2013).
10. Research and Education Center of Agriculture and Natural Resources of Qazvin, Part of the Research, "Understanding the causes of degradation of concrete canal lining".
11. Water Regional Qazvin, Surface Irrigation, Information about the Hydraulic Characteristics of the Main Channel.
12. Hola, J., Bien, J., Sadowski, L. and Schabowicz, K. "Non-destructive and semi-destructive diagnostics of concrete structures in assessment of their durability", *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, **63**(1), pp. 87-96 (Mar, 2015).
13. Naderi, M., *Register of Invention in Registration Office in Islamic Republic of IRAN*, "TWIST-OFF" Test, Registration Number: 32502 (2005).
14. Naderi, M., *The Methods of Recovery and Experimental Determination and Situ Strength of Concrete*, Publishers Rozbahan, Tehran, pp. 143-187 (1388).
15. Naderi, M. "Using twist-off method for measuring surface strength of concretes cured under different environments", *J. of Mater. in Civil Eng.*, **23**(4), pp. 385-397 (2011).
16. Naderi, M., *Register of Invention in Registration Office in Islamic Republic of IRAN*, "Cylndrycal Chamber" Test, Registration Number: 67726 (2010).
17. Akhavan Sedighi, A. "Compare permeability of concrete using standard methods and cylindrical chamber", M.Sc Thesis on Structural Engineering, Faculty of Engineering, International University of Imam Khomeini (RA), Qazvin (1393).