

## ظرفیت انتقال لوله‌های موجدار زهکشی: فرمول جریان یکنواخت یا غیریکنواخت؟

صلاح کوچک‌زاده<sup>۱</sup> و فرشته باقری<sup>۲</sup>  
۱، ۲، دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران  
تاریخ پذیرش مقاله ۸۲/۱۰/۳

### خلاصه

در حال حاضر از دو فرمول کلی برای طراحی قطر زهکش‌ها استفاده می‌شود که اولی مبتنی بر برقراری جریان یکنواخت است و فرمول دوم براساس حاکمیت جریان غیریکنواخت (بده متغیر) ارائه شده است. برای شرایط یکسان، فرمول دوم بده را حدود ۷۰٪ بیشتر از فرمول اول می‌دهد. در حالی که در استخراج فرمول‌های یاد شده فرض‌های هیدرولیکی یکسانی پذیرفته شده است. با توجه به چنین اختلافی، به نتایج کدام فرمول و تحت چه شرایطی باید اعتماد کرد؟. در این تحقیق میزان ظرفیت انتقال لوله‌های موجدار زهکشی در شرایط آزمایشگاهی تعیین گردید. سپس نتایج آزمایشگاهی با نتایج فرمول‌های متداول مورد مقایسه قرار گرفت. مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد که ظرفیت انتقال محاسبه شده براساس فرمول جریان یکنواخت در دامنه شیب‌های طولی کاربردی، فرض‌های پذیرفته شده در استخراج فرمول را برقرار نکرده و همواره جریانی با سطح آزاد در طول لوله ایجاد می‌نماید. اما ظرفیت انتقال محاسبه شده براساس فرمول جریان غیریکنواخت در شیب‌های تندتر محدوده کاربردی، جریان را در لوله به مقدار قابل توجهی تحت فشار قرار می‌دهد که به معنای برقراری شرایط نامطلوب ایستابی می‌باشد. به این ترتیب لوله انتخاب شده براساس فرمول جریان یکنواخت، امکان عبور بده بیش از بده طراحی را فراهم خواهد کرد، اما قطری که براساس فرمول جریان غیریکنواخت انتخاب شده باشد، نمی‌تواند بده طرح را با شرایط مطلوب، به خصوص در شیب‌های تندتر، عبور دهد. از آنجا که میزان افزایش ظرفیت انتقال لوله و شدت تحت فشار قرارگرفتن جریان، که اولی بخاطر استفاده از فرمول جریان یکنواخت و دومی به دلیل کاربرد فرمول جریان غیریکنواخت حاصل شده است، تابع شیب طولی لوله می‌باشد. در این تحقیق اثر این فاکتور و همچنین اثر انسداد نسبی لوله بر ظرفیت انتقال مطالعه شده و نتایج کاربردی آن گزارش شده است.

### واژه‌های کلیدی: لوله‌های موجدار، زهکشی، ظرفیت انتقال، برگشت آب، جریان غیر یکنواخت

#### مقدمه

امروزه لوله‌های پلاستیکی موجدار به خاطر مقاومت مطلوب و سهولت نصب کاربرد غالب در طرح‌های زهکشی پیدا کرده‌اند. اما هیدرولیک جریان و ضریب مقاومت خاص خود را دارند که بیشتر از ضریب اصطکاک لوله‌های صاف می‌باشد. این لوله‌ها به صورت مشبک یا سوراخ‌دار ساخته می‌شوند تا آب بتواند از شبکه منافذ آن وارد لوله شود. سوراخ‌ها، درز یا شکافهای

ساده‌ای هستند به عرض ۰/۶ تا ۲ میلی‌متر که در داخل شیار لوله ایجاد شده‌اند. به طور کلی تعداد و سطح مقطع درزها باید طوری باشد که مساحتی بالغ بر ۸۰۰ میلی‌متر مربع در هر متر طول لوله داشته باشند (۱).

تعیین قطر لوله‌ها یا تعیین ظرفیت انتقال قطر خاص از مسائل مهم در طراحی زهکش‌های زیر زمینی می‌باشد. یکی از روش‌هایی که برای این منظور به کار رفته است، بر اساس پر

صورت غیر یکنواخت در نظر گرفته می‌شود، طوری که مقدار بده در ابتدای بالادست لوله صفر است و در انتهای پایین دست آن  $Q_L$  می‌باشد. اما فرض پر بودن لوله‌ها همچنان برقرار است. شیب خط انرژی و خط گرادیان هیدرولیکی در انتهای بالادست صفر است و در انتهای پایین دست به حداکثر خود می‌رسد اما از سقف لوله خیلی بالاتر در نظر گرفته نمی‌شود. در هر مقطعی به فاصله  $x$  از بالادست لوله بده توسط رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$Q_x = q_d B x \quad (۳)$$

که در آن  $q_d$  = ضریب زهکشی،  $B$  = فاصله دو لوله زهکش، و  $x$  = فاصله از بالادست می‌باشد. اگر  $Q_L = q_d L B$  باشد، در این صورت برای لوله‌های صاف و موجدار به ترتیب روابط زیر ارائه شده‌اند:

$$Q_L = 89.66 d^{2.71} \bar{i}^{0.57} \quad (۴)$$

$$Q_L = 38 d^{2.67} \bar{i}^{0.5} \quad (۵)$$

روابط فوق تحت عنوان روابط متداول در این مقاله آمده است.

## مواد و روشها

### تجهیزات آزمایشگاهی

به منظور دستیابی به داده‌های آزمایشگاهی مدلی در آزمایشگاه مرکزی تحقیقات آب گروه آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی کرج ساخته شد که در آن لوله‌های صاف و موجدار در داخل فلومی با جریان گردشی نصب می‌شد.

مجموعه تجهیزات آزمایشگاهی که در این تحقیق به کار رفته است از اجزاء زیر تشکیل شده است:

فلوم مستطیلی، مخزن ورودی به فلوم، مخزن اندازه‌گیری، مخزن ذخیره و پمپ.

### فلوم مستطیلی و اجزای آن

فلوم مستطیلی شیشه‌ای به طول ۶ متر، عرض ۲۰ سانتیمتر و ارتفاع ۴۰ سانتیمتر می‌باشد و بر روی سکوی فلزی مستقر شده است. آب از یک مخزن ورودی واقع در بالادست فلوم پس از حذف تلاطم به آرامی وارد کانال می‌شود. آب خروجی از پایین دست کانال به داخل مخزنی که مجهز به یک سرریز مثلثی با زاویه رأس ۵۳ درجه است می‌ریزد و پس از عبور از روی سرریز مثلثی به مخزن ذخیره منتقل می‌شود. در کف فلوم و در طول

بودن لوله و یکنواخت بودن جریان استوار شده است (۱). اما در نشریه انستیتوی بین‌المللی بهبود و عمران اراضی (ILRI) <sup>۱</sup> رابطه‌ای بر اساس غیر یکنواخت بودن جریان ارائه شده است که در تدوین آن با هم لوله‌ها پر در نظر گرفته شده‌اند (۲). در روابط ارائه شده علاوه بر پر بودن لوله این فرض که خط گرادیان هیدرولیکی تقریباً بر سقف لوله و یا کمی بالاتر از آن قرار می‌گیرد، پذیرفته شده است. در این تحقیق هدف این است که نتیجه کاربرد فرمول‌های متداول با ضرائب زبری اسمی برای لوله‌های موجدار ساخت کشور به آزمون گذاشته شود و ظرفیت انتقال اسمی با مقدار واقعی مقایسه شود. براساس نتایج این مقایسه شرایط کاربردی که متضمن اطمینان مطلوب از عملکرد لوله‌ها باشد ارائه شده است.

### سابقه مطالعات

فرمول‌های متداول در طراحی قطر زهکش‌ها بر اساس دو نوع لوله و دو رژیم جریان، یعنی لوله‌های صاف و موجدار و جریان‌های یکنواخت و غیریکنواخت (متغیر) با فرض لوله پر، ارائه شده‌اند. از آنجا که کاربرد نتایج این روابط با نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار خواهند گرفت، به آنها اشاره مختصری می‌شود.

### روابط جریان یکنواخت

روابط حاکم بر جریان یکنواخت، یعنی جریانی که بده در طول مجرا تغییر نکند برای لوله‌های صاف و موجدار به تفکیک بررسی شده‌اند. در لوله‌های صاف با به کار بردن رابطه دارسی-ویسباخ، فرض درجه حرارت ۱۰ درجه سانتیگراد و جایگذاری مقادیر ثابت، برای لوله‌های تمیز و در شرایط مزرعه رابطه زیر ارائه شده است (۲):

$$Q = 50 d^{2.71} \bar{i}^{0.57} \quad (۱)$$

اما برای لوله‌های موجدار از رابطه مانینگ استفاده شده است که به شکل زیر در می‌آید:

$$Q = 22 d^{2.67} \bar{i}^{0.5} \quad (۲)$$

### روابط جریان غیر یکنواخت

در این روش جریان در داخل لوله‌های زهکش به درستی به

بده مورد نظر وارد کانال می‌گردید، بعد از حصول اطمینان از پایداری جریان که باثبات رقوم سطح آب در مانومترها و همچنین روی سرریز مثلی کنترل می‌شد، به قرائت مانومترهای متصل به لوله و کانال اقدام می‌شد. به این ترتیب پروفیل سطح آب درون لوله برای هر بده ثبت می‌شد. سپس با افزایش بده و تکرار مراحل فوق برداشت‌های بعدی تا ثبت نتایج مرتبط به بده حداکثر صورت می‌گرفت. پس از آن با نصب سرریز انتهایی در مقطع خروجی لوله، مراحل فوق برای هر سرریز تکرار می‌شد. با آزمون تمام سرریزهای موردنظر، شیب طولی کانال تغییر داده می‌شد و مجدداً برداشت‌ها برای شیب جدید صورت می‌گرفت. آزمایشها بر مبنای تغییرات بده، شیب، ارتفاع سرریز انتهایی و قطر لوله‌های موجدار پایه ریزی گردید.

### نتایج و بحث

مطالعات قبلی نشان داد که کاربرد فرمول‌های متداول در طراحی زهکش‌ها نتایج محافظه کارانه‌ای می‌دهد و فرض‌هایی که در تدوین فرمول‌های متداول پذیرفته شده است، در عمل تحقق پیدا نمی‌کنند (۳). هدف این تحقیق بررسی ظرفیت انتقال لوله‌های زهکش، زمانی که قطر لوله‌ها براساس یکی از دو فرمول متداول طراحی انتخاب شده و میزان تاثیر عوامل دیگر از قبیل شیب طولی و میزان انسداد بر ظرفیت یادشده، می‌باشد.

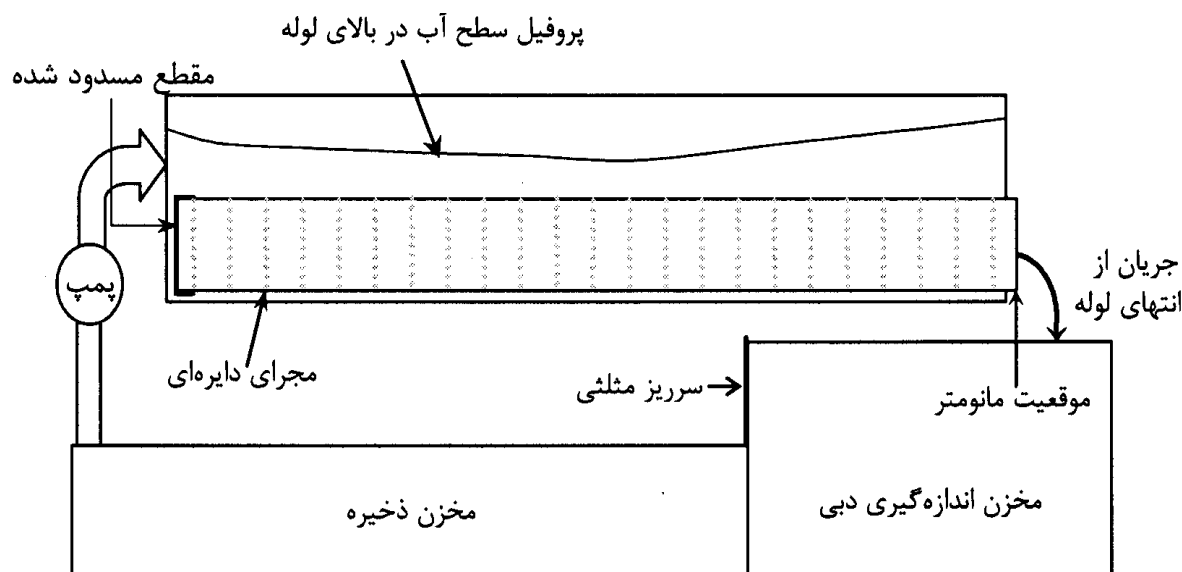
آن از پایین دست به بالادست سوراخ‌هایی به فواصل ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۳۰۰، ۳۰۰، ۱۲۰۰، ۹۰۰ و ۸۴۵ میلیمتر تعبیه شده است که به کمک آنها امکان قرائت هد پیزومتریک میسر می‌شود. پمپ سیستم، آب را از مخزن ذخیره به داخل مخزن ورودی به فلوم پمپاژ می‌کند و به این ترتیب سیکل گردش آب کامل می‌شود.

### آماده سازی تجهیزات آزمایشگاهی

در این پژوهش لوله‌های موجدار متداول در طرح‌های زهکشی، با دو قطر ۱۱۵ و ۱۸۲ میلیمتر انتخاب شد. طول لوله‌ها یکسان و برابر ۵/۷۱۵ متر بود. دوازده عدد مانومتر در کف آن نصب گردید و انتهای بالادست آن مسدود شد تا ورود آب به داخل لوله فقط از طریق شکاف‌های جدار لوله امکان پذیر باشد. همچنین به منظور بررسی اثر انسداد بر پروفیل سطح آب و بر ظرفیت انتقال، سرریزهایی به ارتفاعات ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ میلیمتر از کف لوله در انتهای لوله نصب می‌شد. این سرریزها از جنس فیبر شیشه و به شکل لبه تیز ساخته شده‌اند. ارتفاع سرریزها با توجه به قطر لوله‌ها انتخاب شده است.

### چگونگی انجام آزمایشها و برداشت داده‌ها

آزمایشها برای محدوده‌ای از شیب طولی صفر تا ۲/۵٪ انجام گردید. آزمایش برای تمامی لوله‌ها از بده کم به زیاد صورت گرفت و محدوده آن هم بین ۰/۱ تا حدود ۱۶/۵ لیتر بر ثانیه بود. پس از نصب هر لوله ابتدا شیب تنظیم می‌شد و سپس حداقل



شکل ۱- تجهیزات آزمایشگاهی

سطح آزاد تعیین شود. معادله یاد شده برای مقاطع غیرمنشوری و دایره‌ای و همچنین چگونگی حل آن در مراجع ارائه شده است (۴، ۵، ۶، ۷).

برای مطالعه عملکرد لوله‌ها و مقایسه بده عبوری با ظرفیت انتقال محاسبه شده توسط فرمول‌های متداول، بده‌هایی که لوله‌ها را پرکنند بدون اینکه فشار اضافی در درون آنها ایجاد نماید تعیین گردید. خلاصه نتایج آزمایش‌ها در جداول ۱ و ۲ که به ترتیب مربوط به لوله ۱۱۵ و ۱۸۲ میلیمتری می‌باشد، ارائه شده است.

جدول ۱- مقایسه بده فرمول‌های متداول با نتایج آزمایشگاهی

برای قطر ۱۱۵ میلیمتری

شیب	بده فرمول‌های متداول	بده (لیتر بر ثانیه) با مانع به ارتفاع: (که شرط پر بودن لوله را تامین می‌کند)	
		۰ میلیمتر	۱۵ میلیمتر
۰/۰۰۱۴	۲/۵	۴/۴	۴/۴۲۶
۰/۰۰۳۳	۳/۹	۶/۷۸	۴/۴۱۸

در این جداول علاوه بر بده‌هایی که لوله‌ها را پر کرده‌اند بی‌آنکه فشار اضافی قابل توجهی ایجاد نمایند، بده فرمول‌های متداول با جریان یکنواخت و غیریکنواخت نیز ثبت شده است. بده‌های یاد شده برای محدوده پایین و بالای شیب‌های کاربردی، با انسداد و بدون آن به کمک مشاهدات آزمایشگاهی به دست آمده‌اند.

جدول ۲- مقایسه بده فرمول‌های متداول با نتایج آزمایشگاهی

برای قطر ۱۸۲ میلیمتری

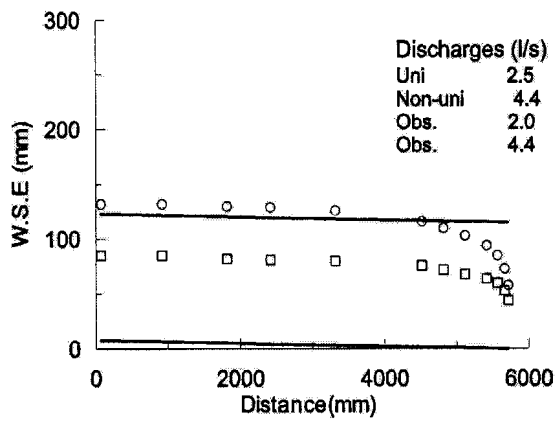
شیب	بده فرمول‌های متداول	بده (لیتر بر ثانیه) با مانع به ارتفاع: (که شرط پر بودن لوله را تامین می‌کند)			
		۰ میلیمتر	۳۰ میلیمتر	۶۰ میلیمتر	۹۰ میلیمتر
۰/۰۰۱	۷/۳	۱۲/۷۱۱	۱۳/۱۶۹	۱۲/۴۸۳	۷/۲۶۱
۰/۰۰۳	۱۲/۶۵	۲۲/۰۱۶	۱۳/۷۳۵	۱۲/۸۲۹	۷/۲۶۱

نتایج مشاهدات آزمایشگاهی برای لوله ۱۱۵ میلیمتری در گراف‌های A1 تا A3 شکل ۲ ترسیم شده است. این شکل‌ها حاوی پروفیل‌های سطح آب برداشت شده برای بده‌های نزدیک بده‌های فرمول‌های جریان یکنواخت و غیریکنواخت می‌باشد. گراف‌های شکل یاد شده نشان می‌دهد که بده فرمول جریان یکنواخت در محدوده پایین شیب طولی جریان کاملاً با سطح آزاد ایجاد می‌کند و با افزایش شیب، پروفیل سطح آب به سقف لوله می‌رسد بدون اینکه فشار اضافی تولید کند. اما پروفیل مربوط به بده فرمول جریان غیریکنواخت حتی برای کمترین شیب تقریباً تمام طول لوله را به صورت تحت فشار در می‌آورد و برای تندترین شیب مقدار فشار اضافی به ارتفاعی معادل قطر لوله و کمی بیشتر هم می‌رسد. برای لوله ۱۸۲ میلیمتری نیز نتایج مشابهی به دست آمده است که در گراف‌های B1 تا B3 شکل ۲ ارائه شده است.

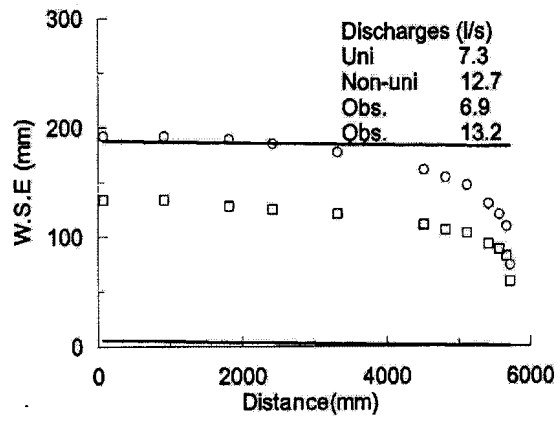
نتایج به دست آمده برای حداقل شیب طولی مورد آزمون در گراف B1 شکل ۲ رسم شده است. بده فرمول جریان یکنواخت در این شکل دارای سطح آزاد است، اما بده فرمول جریان غیریکنواخت تقریباً نصف لوله را پر کرده است. از آنجا که تجهیزات آزمایشگاهی برای این قطر اجازه آزمون بده‌های مربوط به جریان غیریکنواخت برای شیب‌های تند را نداده است، گراف‌های B2 و B3 فقط حاوی پروفیل مربوط به بده نزدیک به بده فرمول جریان یکنواخت می‌باشد. اما پروفیل سطح آب در این شکل‌ها به خوبی می‌تواند پیش بینی وضعیت جریان برای بده‌های بیشتر را میسر کند. به عبارت دیگر عبور بده فرمول جریان غیریکنواخت بدون تحت فشار قراردادن جریان در طول لوله امکان پذیر نخواهد بود.

حال این سوال مطرح است که اگر از فرمول جریان یکنواخت برای طراحی استفاده شود، چه میزان ضریب اطمینان در نتایج نهفته خواهد بود. نصب مانع در پایین دست لوله و مطالعه اثر آن اساساً برای پاسخ به سوال فوق صورت گرفت.

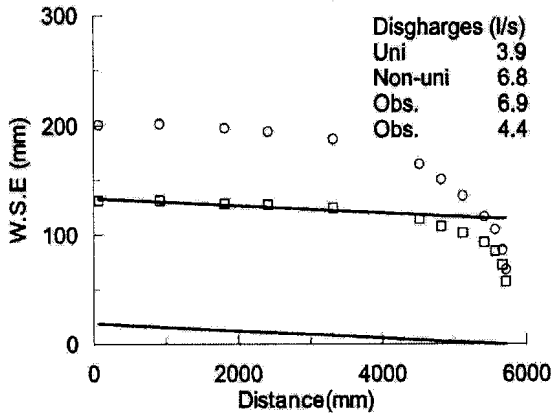
پروفیل سطح آب برای تمام بده‌هایی که مقطع لوله را پر نمی‌کنند باید به وسیله معادله حاکم بر جریان متغیر مکانی با



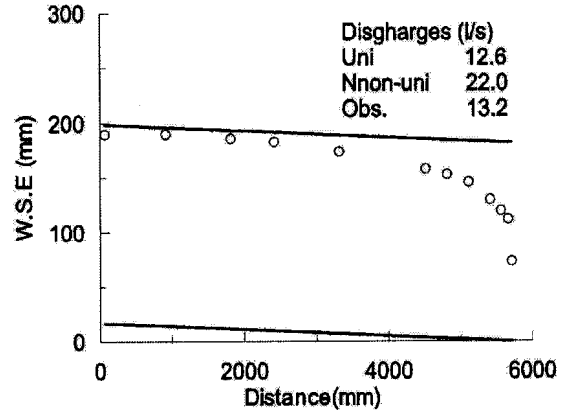
(A1)- S=0.0014, D=115mm



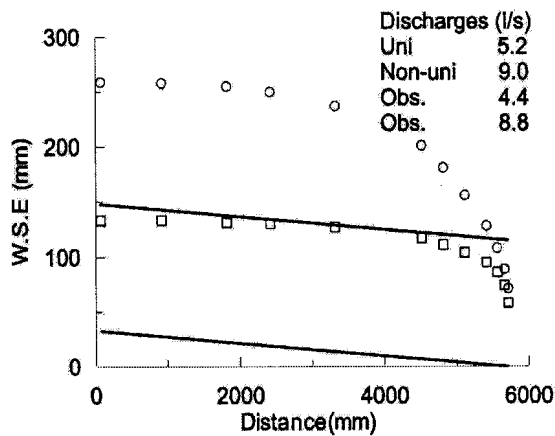
(B1)- S=0.001, D=182mm



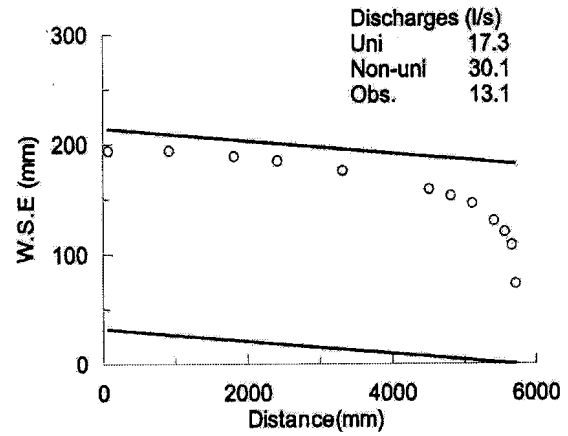
(A2)- S=0.0033, D=115mm



(B2)- S=0.003, D=182mm

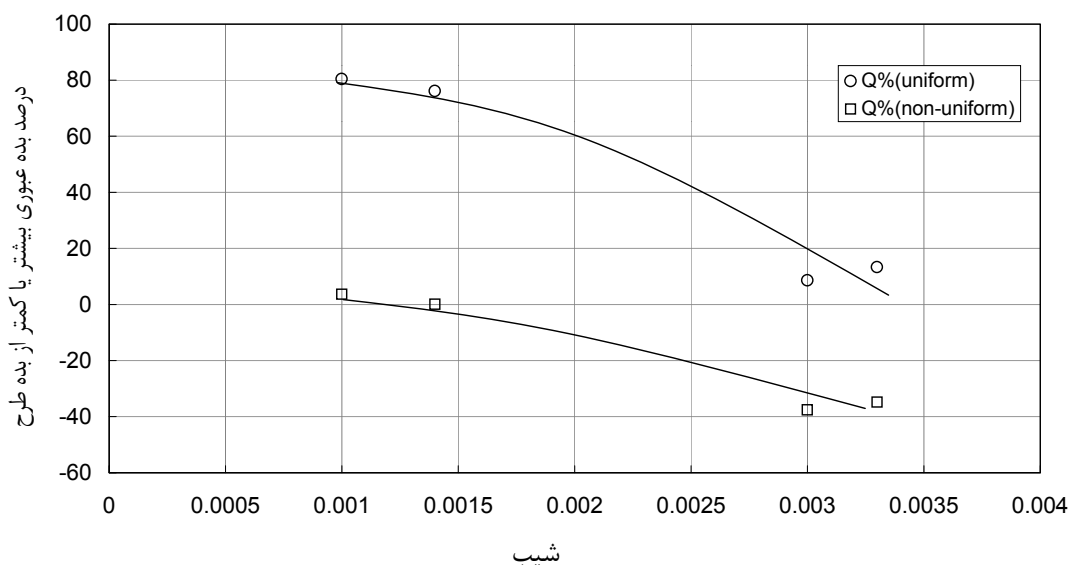


(A3)- S=0.0058, D=115mm

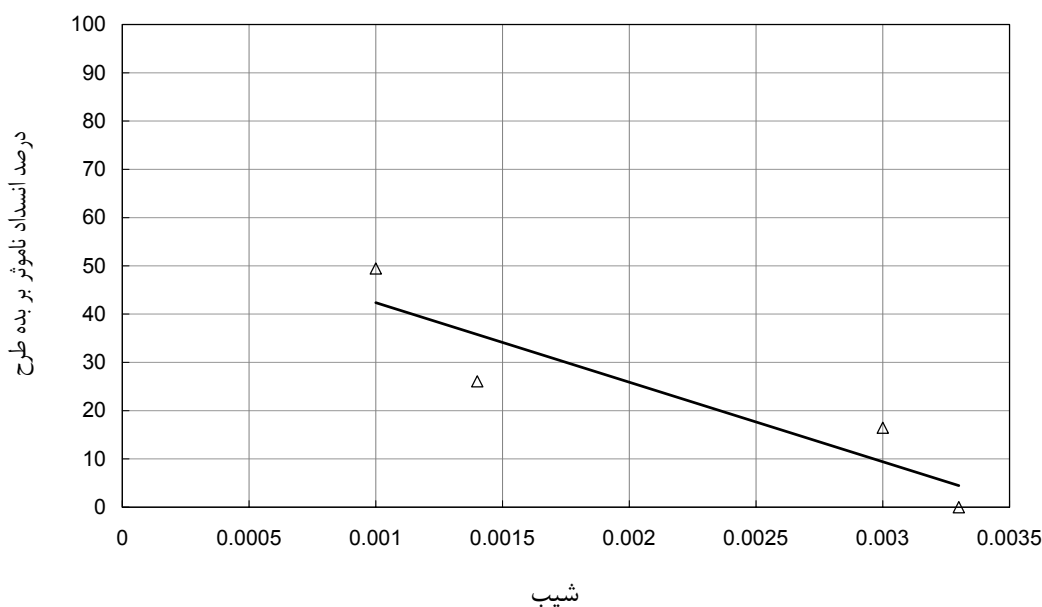


(B3)- S=0.0056, D=182mm

شکل ۲- نیمرخ سطح آب مشاهده شده درون لوله ۱۱۵ و ۱۸۲ میلیمتری با شیب‌های طولی مختلف



شکل ۳- در صد تغییر ظرفیت انتقال لوله‌های موجدار برای تحقق فرض‌های فرمول‌های متداول



شکل ۴- در صد انسداد لوله برای عبور بده فرمول جریان یکنواخت با شرط پر بودن لوله

طراحی فرمول جریان غیریکنواخت بوده است، با افزایش شیب عملاً با کاهش ظرفیت انتقال لوله نسبت به بده فرمول مواجه می‌شویم و این میزان کاهش برای شیب‌های تند تا حدود ۴۰٪ می‌رسد. مجدداً یادآوری می‌کنیم، بده‌هایی که در این نمودار به کار رفته‌اند، بده‌هایی بوده‌اند که بدون ایجاد انسداد در پایین دست، لوله را به گونه‌ای پر کرده‌اند که فشار اضافی، داخل آن به وجود نیاید.

بررسی نتایج از منظر دیگری می‌تواند نتایج کاربردی ملموسی ارائه نماید. بدین معنی که اگر ملاک طراحی فرمول

حال براساس نتایج آزمایشگاهی می‌توان درصد افزایش و یا کاهش ظرفیت انتقال لوله‌های موجدار زهکشی نسبت به بده روش‌های متداول در شیب‌های مختلف تعیین کرد. شکل ۳ نتایج را برای هر کدام از فرمول‌ها نشان می‌دهد.

همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، با زیاد شدن شیب افزایش ظرفیت انتقال کاهش می‌یابد. به گونه‌ای که اگر معیار طراحی فرمول جریان یکنواخت بوده باشد، افزایش ظرفیت انتقال که در شیب‌های ملایم حدود ۸۰٪ است تا میزان صفر درصد برای شیب‌های تند کاهش می‌یابد. اما اگر ملاک

بده طرح را با شرایط مطلوب (بدون ایجاد فشار داخلی اضافی) عبور می‌دهد و تقریباً هیچگونه ضریب اطمینانی در برنخواهد داشت. اما در شیب‌های تندتر، قطری که براساس فرمول‌های جریان غیریکنواخت طراحی شده باشد، با ایجاد فشار داخلی اضافی (که معادل با ایجاد شرایط ایستابی است) بده طرح را عبور خواهد داد. در چنین حالتی نه تنها ضریب اطمینان وجود ندارد بلکه حتی عملکرد مورد انتظار، از قطر مورد نظر تامین نمی‌شود.

از آنجا عوامل متعدد اجرائی و مدیریت بهره برداری مستلزم منظور نمودن ضریب اطمینان قابل قبول می‌باشد. به نظر می‌رسد استفاده از نتایج فرمول جریان یکنواخت، بخاطر در برداشتن این ضریب اطمینان، مطلوب تر است. اگرچه اساساً فرمول جریان غیریکنواخت شبیه سازی واقعی تری را از جریان داخل لوله‌ها ارائه می‌نماید، اما کاربرد آن بخصوص برای شیب‌های نسبتاً تندتر می‌تواند به نتایج نامطلوبی منجر شود.

### سپاسگزاری

این پژوهش مستخرج از طرح اثر برگشت آب بر طراحی زهکش‌ها براساس معادله حاکم بر جریان متغیر مکانی به شماره ۷۱۱/۳/۴۹۳ می‌باشد که با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه تهران انجام شده که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

جریان یکنواخت بوده باشد، با توجه به نتایج محافظه کارانه این فرمول، چنانچه انسدادی در لوله‌ها به وجود آید (مانند رسوب گذاری یا موانع دیگر) این انسداد تا چه درصدی از قطر لوله تاثیر قابل توجهی بر ظرفیت انتقال ایجاد نمی‌نماید؟ نتایج آزمایشگاهی که با ایجاد مانع در پایین دست لوله به دست آمد می‌تواند در این تحلیل به کار گرفته شود. به عبارت دیگر بده‌هایی که به خاطر وجود انسداد پایین دست، منحنی برگشت آبی ایجاد کرده‌اند که به سقف لوله رسیده باشد اما جریان را به صورت تحت فشار درنیارده باشد، و مقادیر آنها با بده فرمول جریان یکنواخت تقریباً مساوی باشد، ملاک عمل قرار گرفت. ارتفاع مانع که با بده مورد نظر لوله را پر می‌کرد در نظر گرفته شد و به صورت درصد انسداد در برابر شیب در شکل ۴ ترسیم شد.

همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود اگر طراحی براساس فرمول جریان یکنواخت صورت گیرد در عمل برای شیب‌های کم حتی با ایجاد انسداد تا ۵۰٪ قطر لوله، بده طرح بدون اشکال از مقطع عبور می‌کند. اما با افزایش شیب طولی درصد انسداد مجاز کاهش می‌یابد و در شیب‌های نسبتاً تند تقریباً به صفر می‌رسد.

### نتیجه‌گیری

به عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که در شیب ۰/۰۰۱ و محدوده بسیار نزدیک به آن نتایج فرمول جریان غیریکنواخت،

### REFERENCES

### مراجع مورد استفاده

۱. علیزاده، ا. ۱۳۶۵. زهکشی اراضی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۹۶.
۲. کوچک زاده، ص. ۱۳۸۲. ضوابط طراحی زهکشها براساس معادله حاکم بر جریان متغیر مکانی و مقایسه آن با روشهای متداول. گزارش طرح پژوهشی سازمان مدیریت منابع آب ایران (وزارت نیرو)
۳. کوچک زاده، ص و ف. باقری. ۱۳۸۲. تعیین ضریب زبری لوله های موجدار زهکشی برای شرایط واقعی جریان. مجله علوم کشاورزی ایران جلد ۳۴ شماره ۳.
4. ILRI. 1974. Drainage Principles and Applications, Vol. IV, publication No. 16, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.
5. Kouchakzadeh, S. & Vatankhah, A. R. 2002. Spatially varied flow in non-prismatic channels I: Dynamic equation, Journal of Irrigation and Drainage, International commission on Irrigation and Drainage (ICID), Vol. 51(1).
6. Chow, V. T. 1969. Spatially Varied Flow Equations. Water Resources Research, Vol. 5.
7. Henderson, F. M. 1966. Open Channel Flow. Mac Millan Pub. Co. New York.

## Carrying Capacity of Corrugated Drainage Pipes: Uniform or Non-Uniform Flow Formula?

S. KOOCHAK-ZADEH<sup>1</sup> AND F. BAGHERI<sup>2</sup>

1, 2, Associate Professor and Graduate Student, Faculty of Agriculture,  
University of Tehran, Karaj, Iran

Accepted, Dec. 23, 2003

### SUMMARY

Currently, two formulas are being used in drainage pipe diameter design; the first being based on postulating the presence of uniform flow while the second one derived by considering non-uniform flow conditions. For a given set of conditions the conduit carrying capacity computed based upon the second formula exceeds the result calculated on the basis of the first by about 70%. While same hydraulic assumptions have been considered in deriving either formula, once such discrepancy arises, which formula should be relied on and to what extent? In this research, the carrying capacity of the corrugated drainage pipes was experimentally determined in such a way that the above assumptions be valid. The results, then, were compared with those obtained when using common formulas. Data compiled based on the discharges, computed by taking into account uniform flow formula and using the applied longitudinal slope, indicated the presence of free surface flow along the pipes, while discharges determined based on non-uniform flow formula run with excess internal pressure especially for steeper longitudinal slopes. This implies that a pipe diameter determined based on uniform flow formula is capable of carrying discharges higher than the predicted design discharge, while it cannot deliver the design discharge with a desirable flow condition if the non-uniform flow formula is employed. Since the increase in a pipe carrying capacity and the presence of excess internal pressure, attributed to the use of uniform and non-uniform flow formulas respectively, are affected by the longitudinal slope, the effects of longitudinal slope as well as clogging conditions on pipe carrying capacity were also studied and their practical results were reported.

**Key words:** Corrugated pipes, Drainage, Conveyance capacity, Backwater,  
Non-uniform flow