

## مطالعه هیدرولیکی جریان در لوله‌های موجدار زهکشی

### و ارائه روابط ظرفیت انتقال کاربردی<sup>۱</sup>

صلاح کوچک‌زاده، مجتبی اکرم و فرشته باقری<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش مقاله: ۸۵/۱/۱۹

تاریخ دریافت مقاله: ۸۳/۵/۲۵

#### چکیده

هدف از این تحقیق کاربردی تعیین ضریب زبری واقعی لوله‌های موجدار زهکشی و ارائه روابط متناسب با آن برای بهره‌برداری در طرح‌های عمرانی است. ویژگی‌های این لوله‌ها به گونه‌ای است که امکان تعیین ضریب زبری نسبی یا مطلق آن به طور مستقیم میسر نخواهد بود. به همین دلیل با ایجاد دو مجموعه آزمایشگاهی مستقل، برای بررسی جریان تحت فشار و جریان با سطح آزاد، شرایط هیدرولیکی جریان به طور جامع در دو قطر ۱۱۵ و ۱۸۲ میلی‌متری از لوله‌هایی با جنس پلی وینیل کلراید (PVC) بررسی شد. به کمک داده‌های مجموعه اول تجهیزات آزمایشگاهی و مقایسه نتایج به دست آمده از آن، زبری مطلق مؤثر لوله‌ها به ترتیب برابر با  $4/6$  و  $2/184$  میلی‌متر تعیین گردید. سپس با به کار بردن مقدار یاد شده برای شرایط هیدرولیکی جریان در لوله‌های موجدار تسیاردار (یا شرایط واقعی جریان) نسبت به تعیین ضرایب فرمول مقاومت اقدام و به این ترتیب روابط متداول تعیین ظرفیت انتقال در این لوله‌ها تعدیل شد.

#### واژه‌های کلیدی

جریان متغیرمکانی، زبری مؤثر، زهکش زیرزمینی، عدد رینولدز برشی، لوله‌های موجدار

۱- برگرفته از طرح مطالعاتی با عنوان «تعیین مشخصات هیدرولیکی لوله‌های موجدار مشبک جهت استفاده در زهکش‌های

زیرزمینی»

۲- به ترتیب دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران. نشانی: کرج، ص. پ. ۴۱۱، پیام نگار:

skzadeh@ut.ac.ir، کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی مهندسین مشاور آبساران، و دانشجوی سابق کارشناسی

ارشد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

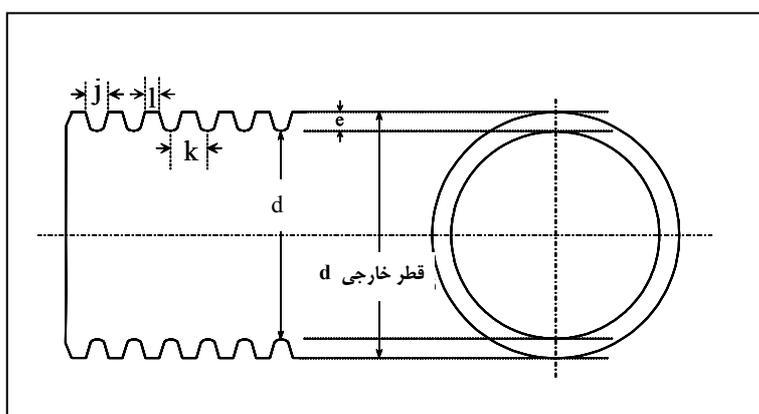
## مقدمه

جمله‌ای توانی به مجموعه داده‌های محققان مختلف که برای لوله‌های سفالی زهکشی و لوله‌های فاضلاب جمع‌آوری شده‌اند، منحنی تغییرات زبری نسبی در مقاطع دایره‌ای شکل ارائه شده است (Zaghloul, 1998). اما از آنجا که در روش طراحی متداول زهکش‌های زیرزمینی لوله‌ها با جریان پر در نظر گرفته می‌شوند، ضریب زبری ثابت منظور شده است.

برای تعیین ضرایب زبری لوله‌های موجدار، مطالعات نسبتاً جامعی صورت گرفته است (Kouchakzadeh & Bagheri, 2003). در این مطالعات ضرایب زبری مانینگ و در مواردی ضریب زبری دارسی-ویسباخ بر اساس ارتفاع امواج، شکل آنها و فاصله بین امواج ارائه شده است (Ritzema, 1994; Broughton et al., 1990).

به طور کلی زبری مجاری با یکی از ضرایب اصطکاک دارسی-ویسباخ<sup>۱</sup> (f)، زبری مانینگ (n)، یا شزی (c)، قابل تبیین است. ضریب زبری اصولاً تابع عوامل مختلفی از قبیل پارامترهای هندسی مجرا، خواص سیال، و جریان است.

مطالعات گذشته محققان نشان می‌دهد که در مقاطع دایره‌ای شکل ضریب زبری مانینگ، با عمق جریان تغییر می‌کند (Subramania, 1986) به طوری که بزرگ‌ترین مقدار n در جریانی با عمق  $y=0.2d$  و کمترین مقدار آن به ازای  $y=d$  اتفاق می‌افتد که در آن، قطر مجرا و  $y$  عمق جریان است. حدود دامنه تغییرات n تقریباً ۳۰ درصد گزارش شده است. همچنین، براساس انطباق چند



شکل شماره ۱- علائم به کار رفته در لوله‌های موجدار زهکشی

$$k = 0.121d + 3.255 \quad (1)$$

که در آن،  $k$  = فاصله بین برآمدگی (یا فرورفتگی) دو موج متوالی به میلی‌متر؛ و  $d$  = قطر داخلی لوله به میلی‌متر است. همچنین می‌توان بین

به منظور بررسی ارتباط ابعاد زبری‌ها با یکدیگر و با قطر داخلی و ضریب زبری مانینگ، فاصله امواج و قطر داخلی لوله‌هایی که تاکنون ساخته شده‌اند، رابطه خطی زیر با ضریب رگرسیون قابل قبول برقرار است (Ritzema, 1994).

امکان‌پذیر است. اما توجه دقیق‌تر به ابعاد، اندازه، و فاصله امواج لوله‌های به کار رفته در تحقیقات قبلی حقیقت دیگری را بیان می‌کند. یعنی برای قطرهای داخلی ۱۱۵ و ۱۸۲ میلی‌متری به کار بردن روابط (۱) و (۲) نشان می‌دهد که فاصله امواج باید به ترتیب برابر ۱۷ و ۲۵ میلی‌متر و ارتفاع آنها نیز به ترتیب ۹ و ۱۴ میلی‌متر باشد. مقادیر یاد شده نسبت به مقادیر مطالعه و ارائه شده در جدول شماره ۱ که مربوط به لوله‌های موجدار زهکشی مورد مطالعه ساخت داخل کشور است، تفاوتی در حد ۵۰ تا ۶۰ درصد را نشان می‌دهد. نمادهای  $k$ ،  $j$ ،  $e$ ، و  $l$  که برای تعریف مشخصات هندسی لوله به کار رفته‌اند در شکل شماره ۱ ارائه شده‌اند.

قطر داخلی لوله‌های موجدار و ارتفاع امواج رابطه زیر را پذیرفت (Ritzema, 1994).

$$e = 0.077d + 0.165 \quad (2)$$

که در آن،  $e$  = ارتفاع امواج به میلی‌متر است. بررسی‌های مؤسسه لوله‌های پلاستیکی ایالات متحده نیز نشان می‌دهد که با افزایش قطر لوله‌های موجدار، ضریب زبری آنها افزایش می‌یابد. اما مقدار ضریب زبری با شکل و ابعاد امواج ارتباط دارد (Ritzema, 1994).  
به نظر می‌رسد که تعیین ضریب زبری برای لوله‌های موجدار با دامنه نسبتاً زیاد قطر داخلی

جدول شماره ۱- مشخصات هندسی لوله‌های موجدار (Anonymous, 2001)

طول کلاف (متر)	$l=k-j$ (میلی‌متر)	$e$ (میلی‌متر)	$j$ (میلی‌متر)	$k$ (میلی‌متر)	تغییرات قطر داخلی (Z) به میلی‌متر	تغییرات قطر خارجی به میلی‌متر
۱۰۰	۳/۴۶	۴/۸۵	۴/۳	۷/۷۶	۲/۵-۰	۰-۲
۷۰	۴/۲۲	۳/۵	۵/۲	۹/۴۲	۲/۵-۰	۰-۲
۴۰	۵/۲	۸/۰	۵/۷۹	۱۰/۹۹	۲/۵-۰	۰-۲

زهکش‌ها، ضریب زبری نقش اساسی دارد. این معادلات به دو صورت زیر ارائه شده‌اند (Ritzema, 1994).

#### - معادله جریان یکنواخت

$$Q = 22d^{2.67}i^{0.5} \quad (3)$$

از آنجا که اندازه و فاصله امواج تاثیر عمده‌ای بر ضریب زبری می‌گذارند و بین ابعاد و پارامترهای لوله‌های مورد نظر و لوله‌های مطالعه شده قبلی اختلاف قابل توجهی وجود دارد به نظر می‌رسد که داده‌های موجود فقط به منظور تخمین ضریب زبری قابل استفاده هستند.

در معادلات مورد استفاده برای طراحی

## - معادله جریان غیر یکنواخت

$$Q = 38d^{2.67}i^{0.5} \quad (۴)$$

که در آنها،  $Q$  = بده جریان (بر حسب متر مکعب بر ثانیه)؛  $d$  = قطر لوله (بر حسب متر)؛  $i$  = شیب هیدرولیکی؛  $\bar{i}$  = متوسط شیب هیدرولیکی است.

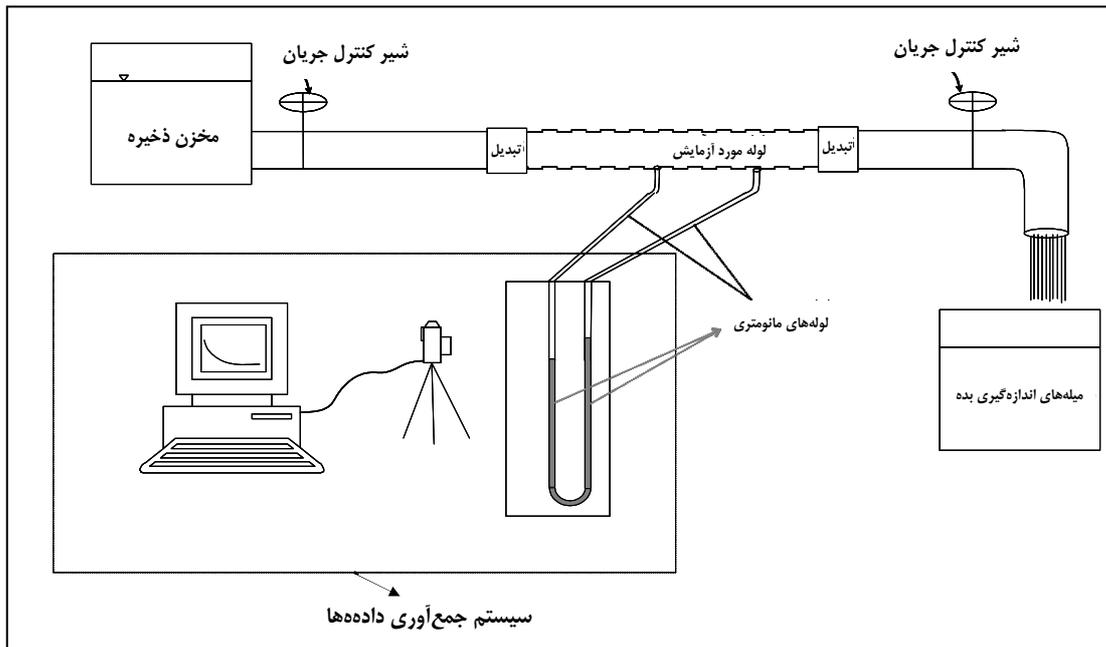
در هر دو روش، دو فرض اساسی وجود دارد: (۱) وجود جریان پر در لوله، (۲) نبود فشار پیرومتریک اضافی در لوله. فرض دوم به معنی استقرار خط پیرومتریک بر تاج لوله یا کمی بالاتر از آن است. نتایج هر یک از آن دو فرمول با فرمول دیگر متفاوت است. در این معادله مقدار ضریب زبری برابر با ۰/۰۱۴ منظور شده است. این ضریب بدون توجه به پارامترهای مؤثر بر ضریب زبری و تنها براساس جنس لوله انتخاب شده است. پس برای تعیین مقدار قابل استناد برای ضریب زبری لوله‌های موجود، مطالعه مستقل اجتناب‌ناپذیر است. هدف از این تحقیق، تعیین ضریب زبری واقعی لوله‌های موجدار زهکشی در جریان تحت فشار برای ایجاد جریان کاملاً متلاطم زبر و پیشنهاد ضریب زبری مناسب برای کاربرد در طرح‌های عمرانی مختلف و برای شرایط جریان‌های مختلف است.

## مواد و روش‌ها

## - تجهیزات آزمایشگاهی

در این تحقیق از نتایج دو مجموعه آزمایشگاهی مستقل جهت بررسی وضعیت هیدرولیکی جریان در لوله‌ها استفاده شده است. با استفاده از تجهیزات سری اول، هیدرولیک جریان تحت فشار در لوله‌های موجدار مطالعه شد و با استفاده از تجهیزات سری دوم، وضعیت جریان با سطح آزاد در لوله‌های یاد شده مطالعه گردید. براساس تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از دو مجموعه فوق، وضعیت هیدرولیکی جریان نزدیک به واقعیت مشخص و برای آن معادله و روابط لازم ارائه شده است.

تجهیزات آزمایشگاهی مطالعه در جریان تحت فشار به منظور بررسی مشخصات هیدرولیکی لوله‌های PVC موجدار تجهیزات لازم در آزمایشگاه مرکزی تحقیقات آب گروه آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی کرج احداث شد. اجزای تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق عبارت‌اند از: سیستم تأمین آب، تبدیل‌ها و اتصالات ورودی و خروجی، لوله‌های موجدار زهکشی، شیر فلکه‌های کنترل جریان، وسایل ثبت ارتفاع (بار) پیرومتریک، و سیستم اندازه‌گیری دبی (شکل شماره ۲).



شکل شماره ۲- طرح شماتیک تجهیزات آزمایشگاهی

### – لوله‌های موجدار زهکشی و اجزای آن

طول کلی لوله‌های موجدار مورد استفاده در این تحقیق ۱۷/۶۷ متر و قطر آنها ۱۱۵ و ۱۸۲ میلی‌متر بود. در بخش‌های ورودی و خروجی لوله، تبدیل‌ها و اتصالات مطمئنی که در فشارهای بالا ضمن تامین ارتباط لازم از نشت آب و رهایی لوله موجدار جلوگیری نماید، به کمک دو زانویی و یک لوله فلزی مستقیم، لوله موجدار را به انشعاب اصلی متصل می‌کرد. دو مانومتر روی تاج امواج و در قسمت فوقانی لوله نصب شد. با توجه به قابلیت انعطاف، جنس، و وجود امواج روی لوله، مانومترها طوری متصل شدند که بتوانند فشارهای واقعی را بدون ایجاد افت بار در محل اتصال منعکس کنند. فاصله بین دو مانومتر در لوله‌های مورد آزمایش به ترتیب ۱۱/۸ و ۱۰/۷۵ متر بود. برای تثبیت لوله در محل نصب آن، از بست‌هایی

محکم و مطمئن به فواصل مناسب و در طول لوله استفاده شد. این بست‌ها لوله را به زمین متصل می‌کردند و به این ترتیب از رها شدن، جابه‌جایی، و تغییر شکل آن در حین آزمایش جلوگیری می‌کردند. آبرسانی به لوله مورد مطالعه و تأمین بده لازم برای اجرای آزمایش‌ها به کمک سیستم مرکزی تأمین آب صورت گرفت. در این سیستم از دو شیرفلکه استفاده شد. یکی از آنها مربوط به انشعاب اصلی بود در بالادست مجموعه آزمایشگاهی قرار داشت و شیرفلکه قطع و وصل اصلی جریان محسوب می‌شد، شیرفلکه دوم در انتهای پایین دست لوله قرار داشت که برای کنترل میزان دبی تعبیه شده بود.

برای ثبت ارتفاع پیزومتریک، از مانومترهای U شکل ساده و تفاضلی که روی تابلوی مدرج نصب شده بود استفاده می‌شد. با توجه به فشار کار زیاد،

برای یکایک بده‌ها صورت می‌گرفت تا زمانی که بده به مقدار حداکثر خود می‌رسید. از این بده، کار تکرار می‌شد اما این بار با کاهش بده از مقدار حداکثر به حداقل، ارتفاع پیژومتریک برداشت می‌شد. پیش از تغییر لوله، برداشت‌ها تجزیه و تحلیل می‌شد تا از وضعیت نتایج و صحت آنها اطمینان حاصل شود. پس از این مرحله، لوله موجود دوم نصب شد که قطر آن ۱۸۲ میلی‌متر بود. مجدداً داده‌برداری مانند لوله اول انجام شد.

#### - تجهیزات آزمایشگاهی مربوط به مطالعه جریان متغیر مکانی با سطح آزاد

مجموعه تجهیزات آزمایشگاهی که برای مطالعه هیدرولیک جریان با سطح آزاد در لوله‌های موجدار به کار رفته است عبارت‌اند از: کانال مستطیلی، مخزن ورودی به کانال، مخزن اندازه‌گیری، مخزن ذخیره، و پمپ (Kouchakzadeh & Bagheri, 2003).

#### - کانال مستطیلی و اجزای آن

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

از جیوه به عنوان مایع فشارسنج بهره‌گیری شد. به منظور دستیابی به داده‌های قابل اعتماد، داده‌ها با عکس‌برداری دیجیتالی و با متوسط‌گیری از چند برداشت در هر بده ثبت شد.

دبی، با استفاده از سرریز مثلثی با زاویه راس نود درجه که با دقت ۰/۵ درصد ساخته شده بود، اندازه‌گیری شد. در بالا دست سرریز به فاصله ۱/۵ متر چاهک اندازه‌گیری سطح آب احداث شد تا برای افزایش دقت در قرائت، اثر تلاطم سطح آب ناچیز باشد.

#### - چگونگی انجام آزمایش‌ها

پس از آماده شدن تجهیزات مربوط به لوله با قطر ۱۱۵ میلی‌متر نسبت به جمع‌آوری داده‌ها اقدام شد. ابتدا با باز کردن کامل شیرفلکه کنترل پایین دست، شیرفلکه بالادست به تدریج تا میزان نهایی آن باز می‌شد. پس از خارج شدن هوای لوله و تخلیه هوای مانومترها، شیرفلکه پایین دست به طور کامل بسته می‌شد. پس از این مرحله، برداشت داده‌ها از کمترین بده شروع می‌شد و تا بیشترین مقدار آن ادامه می‌یافت. هر بار به ازای باز شدن شیر کنترل و به تعادل رسیدن جریان، ارتفاع پیژومتریک ثبت می‌شد. از آنجا که تغییرات فشار پدیده‌ای دینامیک است، ضرورت دارد متوسط زمانی تغییرات در نظر گرفته شود. به همین منظور برای هر بده، با فواصل زمانی از مانومترهای تفاضلی و مانومترهای فشار نسبی نقاط، عکس‌برداری و سپس تصاویر رقومی می‌شد. پس از آن متوسط قرائت‌های متوالی ارتفاع پیژومتریک برای هر بده به عنوان مقدار نهایی در نظر گرفته می‌شد. این عمل

مانومترهای کف لوله به کف کانال، سیستم آماده بهره‌برداری شد.

**- چگونگی اجرای آزمایش‌ها و برداشت داده‌ها**  
آزمایش‌ها برای تمامی لوله‌ها از بده کم به زیاد و در محدوده بین ۰/۱ تا حدود ۱۶/۵ لیتر بر ثانیه اجرا شد. پس از نصب هر لوله و تنظیم شیب طولی، حداقل بده مورد نظر وارد کانال می‌گردید. بعد از حصول اطمینان از پایداری جریان که با ثبات رقوم سطح آب در مانومترها و روی سرریز مثلثی کنترل می‌شد، مانومترهای متصل به لوله و کانال قرائت می‌شد. به این ترتیب نیمرخ سطح آب درون لوله برای هر بده ثبت می‌شد. سپس با افزایش بده و تکرار مراحل فوق برداشت بعدی صورت می‌گرفت. پس از انجام برداشت‌ها برای بده حداکثر، شیب طولی تغییر داده می‌شد و مجدداً برداشت‌ها برای شیب جدید صورت می‌گرفت. نمای مدل فیزیکی در شکل شماره ۳ ارائه شده است.

### نتایج و بحث

**- بررسی هیدرولیک جریان تحت فشار در لوله‌های موجدار**  
به منظور بررسی هیدرولیک جریان تحت فشار در لوله‌های موجدار تغییرات  $f$ ، ضریب زبری داریسی - وایسباخ، با  $Re$ ، عدد رینولدز، بر اساس نتایج برداشت شده برای لوله‌های مورد بررسی در شکل‌های شماره ۴ و ۵ ارائه شده است.

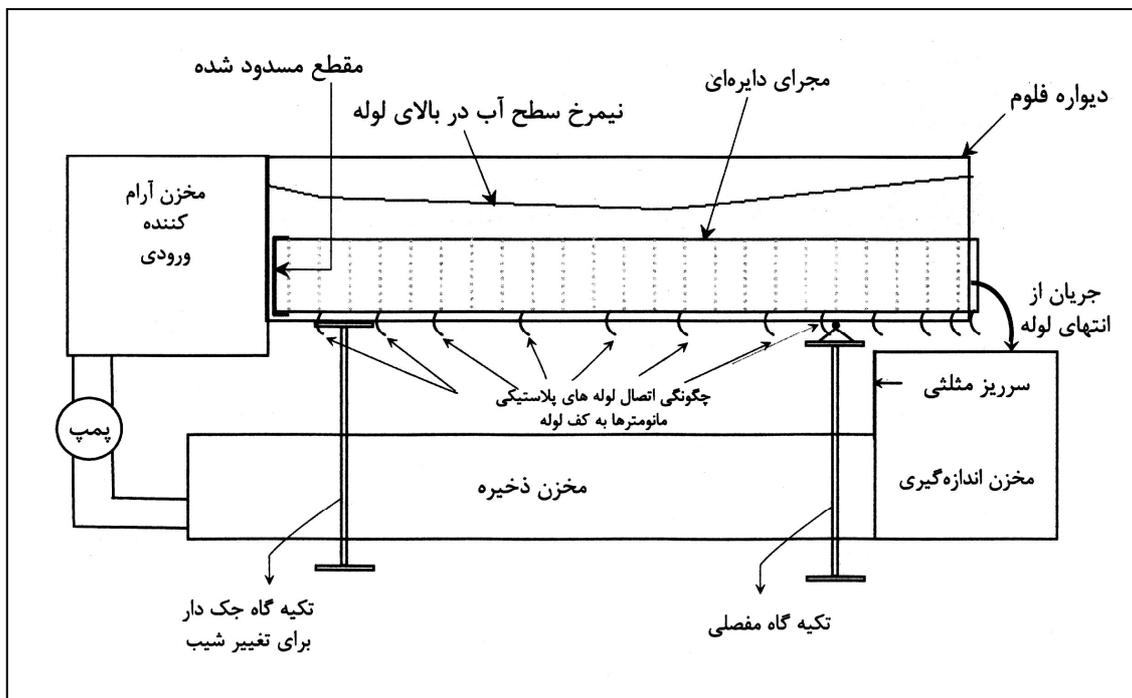
می‌کند و به این ترتیب دوره گردش آب کامل می‌شود.

در کف کانال و در طول آن از پایین دست به بالادست سوراخ‌هایی به فواصل ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۳۰۰، ۳۰۰، ۳۰۰، ۱۲۰۰، ۹۰۰ و ۸۴۵ میلی‌متر تعبیه شده بود که به کمک آنها قرائت ارتفاع پیزومتریک امکان‌پذیر می‌شود.

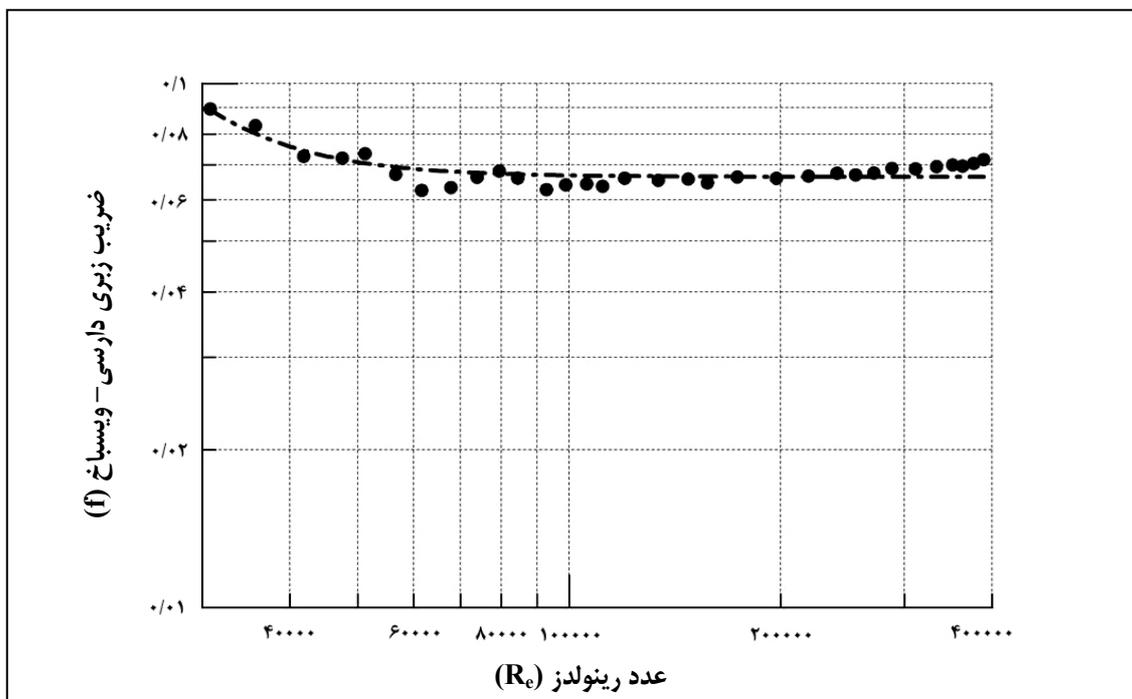
به منظور اجرای آزمایش‌ها، علاوه بر واسنجی سرریز مثلثی ایجاد برخی تغییرات در کانال از جمله نصب لوله‌های زهکش در آن ضروری بود.

### - آماده‌سازی لوله‌ها و نصب آنها در کانال آزمایشگاهی

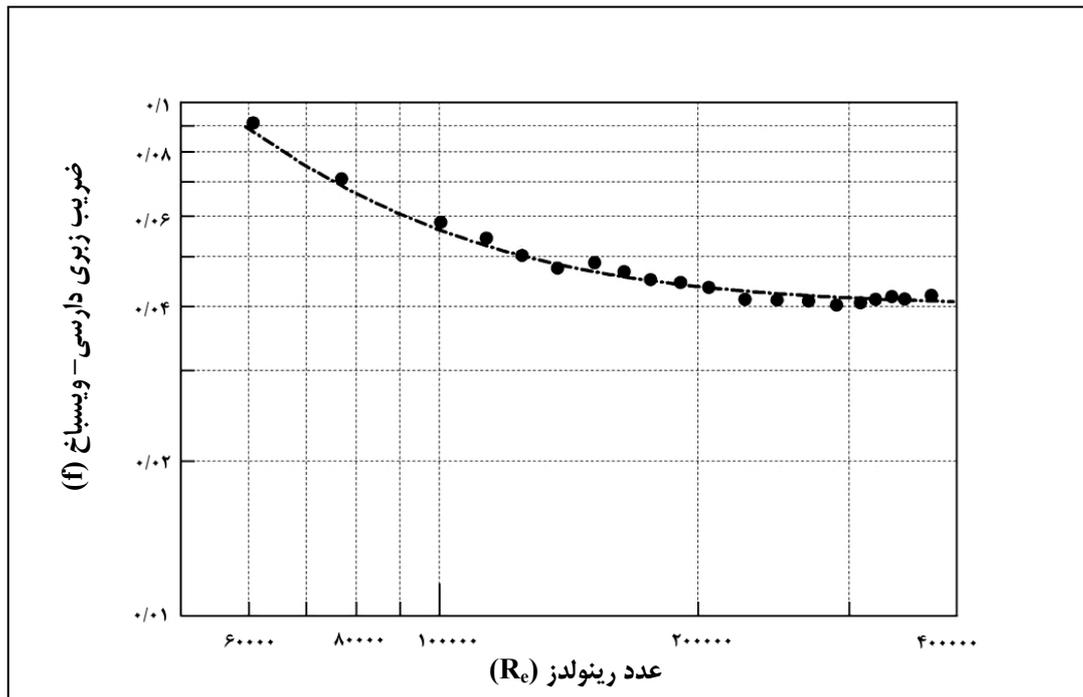
دو قطر متداول برای لوله‌های موجدار یعنی ۱۱۵ و ۱۸۲ میلی‌متر انتخاب شد. طول لوله‌های به کار رفته در آزمایش‌های مجموعه دوم یکسان و برابر ۵/۷۱۵ متر بود. پیش از نصب هر لوله در کانال ابتدا ۱۲ مانومتر در کف آن نصب شد به طوری که بتوان لوله‌های پلاستیکی رابط را از بیرون کانال به محل مانومترها وصل کرد. سپس انتهای بالادست لوله مسدود شد تا ورود آب به داخل آن فقط از طریق شکاف‌های تعبیه شده در جدار لوله امکان‌پذیر باشد. برای مسدود کردن انتهای پایین دست کانال، به طوری که خروج آب فقط از لوله امکان‌پذیر باشد، از یک فیبر شیشه استفاده شد. پس از نصب این صفحه و آب بندی کردن محل اتصال



شکل شماره ۳- نمای مدل فیزیکی مطالعه جریان متغیر مکانی



شکل شماره ۴- منحنی تغییرات ضریب زبری دارسی - ویسباخ با عدد رینولدز برای لوله با قطر ۱۱۵ میلی‌متر



شکل شماره ۵- منحنی تغییرات ضریب زبری دارسی-وایسباخ با عدد رینولدز برای لوله با قطر ۱۸۲ میلی‌متر

$ks =$  ارتفاع مطلق زبری (بر حسب میلی‌متر)؛ و  $d =$  قطر لوله (بر حسب میلی‌متر) است، به کار برد. با مقایسه موقعیت نمودارهای شماره ۴ و ۵ در دیاگرام مودی<sup>۱</sup> (شکل شماره ۶)، زبری نسبی لوله‌ها برابر  $0.04$  و  $0.12$  به ترتیب برای قطرهای ۱۱۵ و ۱۸۲ میلی‌متر و زبری مطلق لوله‌های دارای همان قطر به ترتیب  $4/6$  و  $2/2$  میلی‌متر به دست می‌آید.

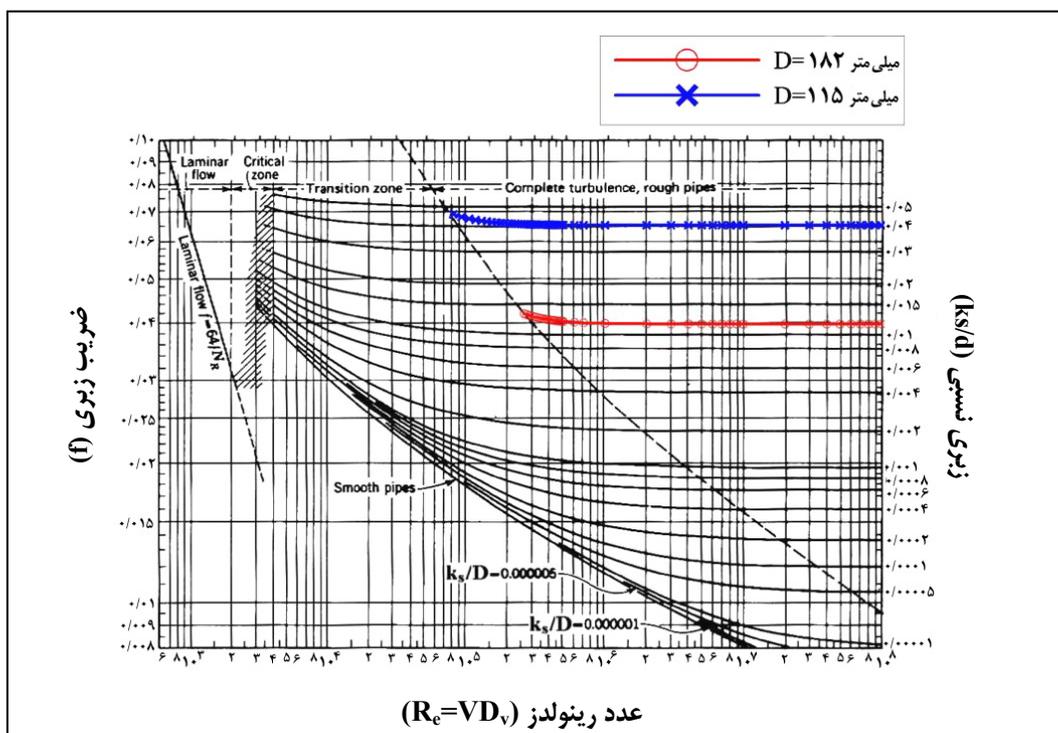
#### مطالعه ضریب زبری جریان با سطح آزاد در لوله‌های موجدار زهکشی

هیدرولیک جریان در لوله‌های موجدار زهکشی قبلاً بررسی شده بود و داده‌های آن تحقیق بار دیگر بررسی و تجزیه و تحلیل شد (Kouchakzadeh & Bagheri, 2003).

تعیین ضرایب افت بار (f) دارسی ویسباخ، C

بررسی اجمالی شکل‌ها این نتیجه را می‌دهد که در قسمت افقی منحنی‌های فوق که مربوط به جریان متلاطم و از نظر هیدرولیکی زبر است و در محدوده اعداد رینولدز مربوط به این نوع جریان، ضرایب زبری f دو لوله ۱۱۵ و ۱۸۲ میلی‌متری به ترتیب  $0.065$  و  $0.04$  مترادف با ضریب زبری مانینگ  $0.16$  و  $0.14$ . تعمق بیشتری در شکل‌های شماره ۴ و ۵ نشان می‌دهد که ضرایب زبری در منطقه متلاطم انتقالی به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد. از این رو برای انتخاب ضریب زبری مناسب مطالعه اعداد رینولدز در جریان تحت فشار و با سطح آزاد در داخل زهکش‌ها ضروری است. ابعاد هندسی زبری‌ها و امواج در لوله‌های مورد بحث در جدول شماره ۱ ارائه شد، اما این ابعاد را نمی‌توان در محاسبه زبری نسبی،  $ks/d$ ، که در آن

ضریب شزی و یا  $n$  مانینگ) در حالت کلی (جریان‌هایی که از نظر هیدرولیکی صاف، کاملاً زبر، یا بینابین هستند) با در اختیار داشتن زبری نسبی برای جریان‌های تحت فشار به کمک عدد رینولدز و برای جریان با سطح آزاد و به کمک عدد رینولدز برشی،  $Re^*$ ، امکان پذیر است.



شکل شماره ۶- انطباق منحنی داده‌های لوله‌های موجود بر دی‌گرام مودی

در این تحقیق به منظور محاسبه ضریب زبری شزی (یا  $n$  مانینگ) در هر مقطع از طول لوله با داشتن رقوم سطح آب و محاسبه ارتفاع معادل سرعت، رقوم خط انرژی در هر نقطه تعیین شد و با استفاده از متوسط شیب خط انرژی سرعت برشی در هر مقطع محاسبه گردید:

$$v^* = \sqrt{gRS_f} \quad (1)$$

که در آن،  $Re^*$  = عدد رینولدز برشی؛  $v$  = لزجت سینماتیکی (بر حسب متر مربع بر ثانیه است). پس از آن ضریب زبری لوله‌ها محاسبه گردید.

که در آن،  $v^*$  = سرعت برشی (بر حسب متر بر ثانیه)؛  $g$  = شتاب ثقل (بر حسب متر بر مجذور

$$Re^* = \frac{V * K_s}{\nu} \quad (2)$$

– طبقه‌بندی جریان

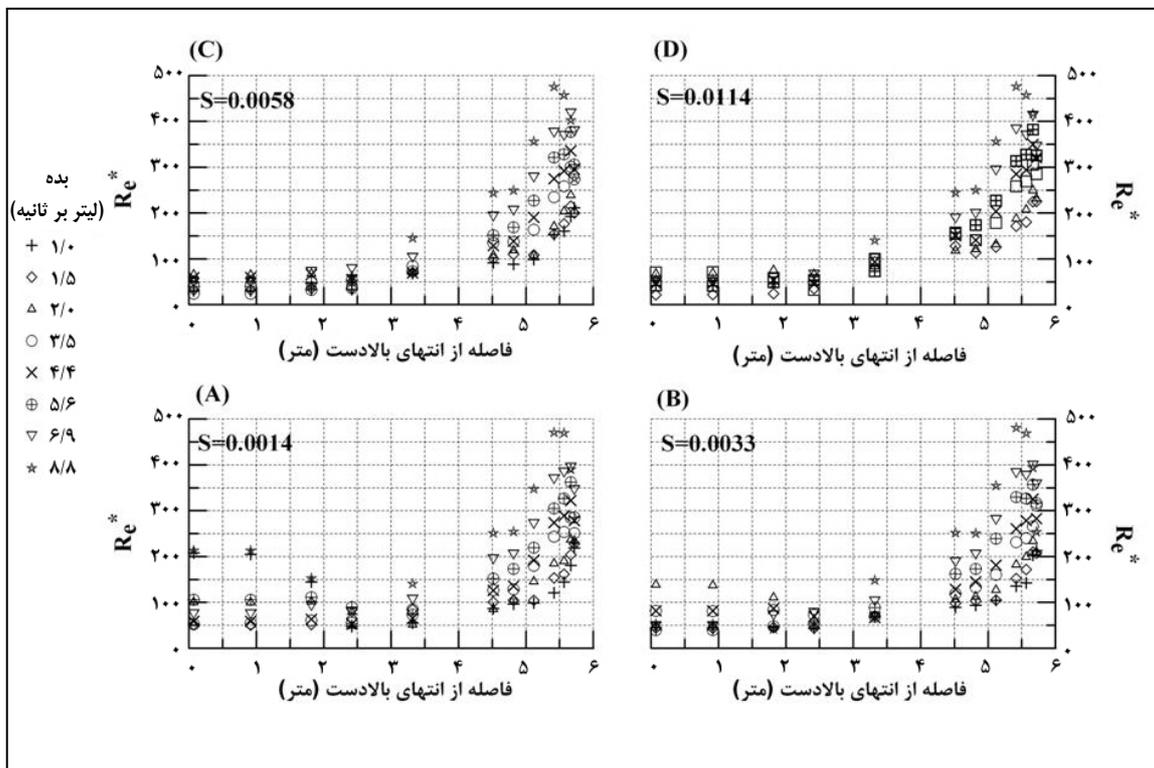
خواهد بود (Henderson, 1966; Sturm, 2001).

برای طبقه‌بندی جریان با سطح آزاد، در لوله‌های موجدار شیاردار تغییرات عدد رینولدز برشی،  $Re^*$ ، در طول لوله با قطرهای ۱۱۵ و ۱۸۲ میلی‌متر به ترتیب در شکل‌های شماره ۷ و ۸ برای شیب‌های مختلف ترسیم شده است.

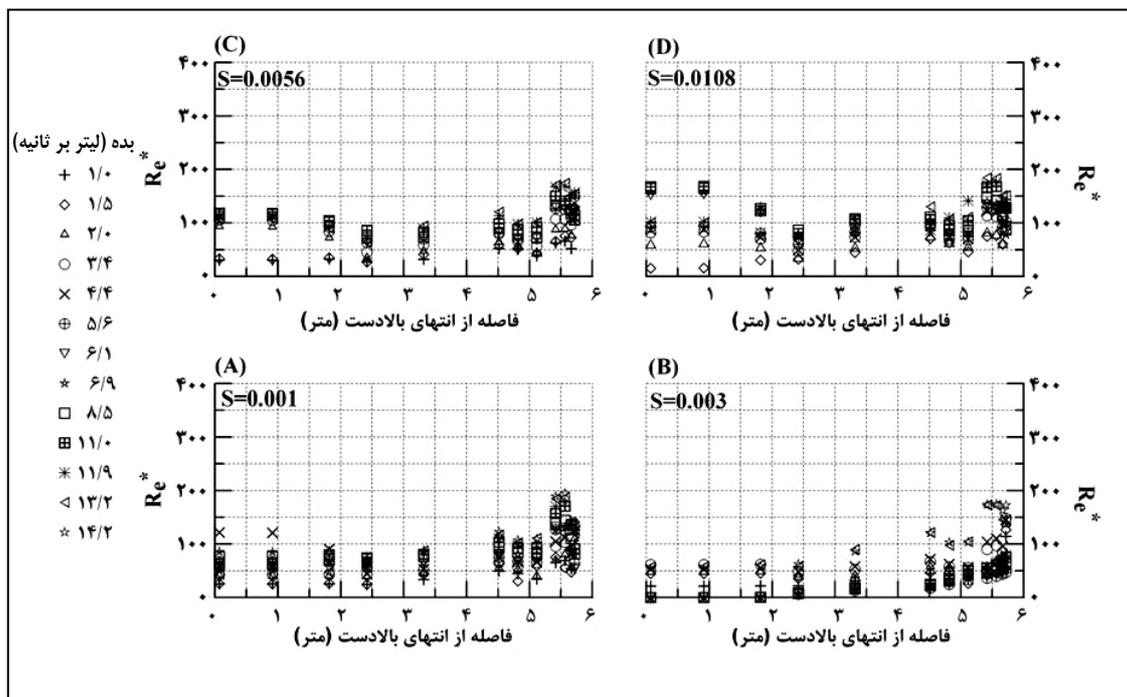
بررسی این شکل‌ها نشان می‌دهد که عدد رینولدز برشی جریان در طول قابل توجهی از لوله بیشتر از ۱۰۰ است که نشان از وجود جریان متلاطم دارد که از نظر هیدرولیکی زبر است. همچنین با توجه به تغییرات عدد رینولدز برشی در طول لوله‌های یاد شده، انتظار می‌رود که ضریب زبری نیز در طول لوله تغییر کند.

انواع سه‌گانه جریان: صاف، انتقالی، و کاملاً زبر به کمک عدد رینولدز برشی،  $Re^*$ ، قابل تمایز هستند که با استفاده از سرعت برشی محاسبه می‌شود. جریان منطقه انتقال به طور تقریبی با دامنه  $4 < \frac{V^* K_s}{\nu} < 100$  تعیین می‌شود

(Henderson, 1966)، اگرچه حد فوقانی گاهی ۷۰ در نظر گرفته شده است (Dauglas et al., 1985)، حد تحتانی، پایان منطقه صاف و حد فوقانی، شروع منطقه کاملاً زبر را تعیین می‌کند. برای طبقه‌بندی جریان براساس معیار فوق، باید زبری مطلق مؤثر،  $k_s$ ، مشخص باشد. در اینجا با به کار بردن زبری نسبی به دست آمده برای دو لوله ثابت می‌شود که جریان متلاطم کاملاً زبر در آنها برقرار



شکل شماره ۷- تغییرات  $Re^*$  نسبت به فاصله از بالادست برای لوله با قطر ۱۱۵ میلی‌متر و شیب‌های مختلف



شکل شماره ۸- تغییرات  $Re^*$  نسبت به فاصله از بالادست برای لوله با قطر ۱۸۲ میلی‌متر و شیب‌های مختلف

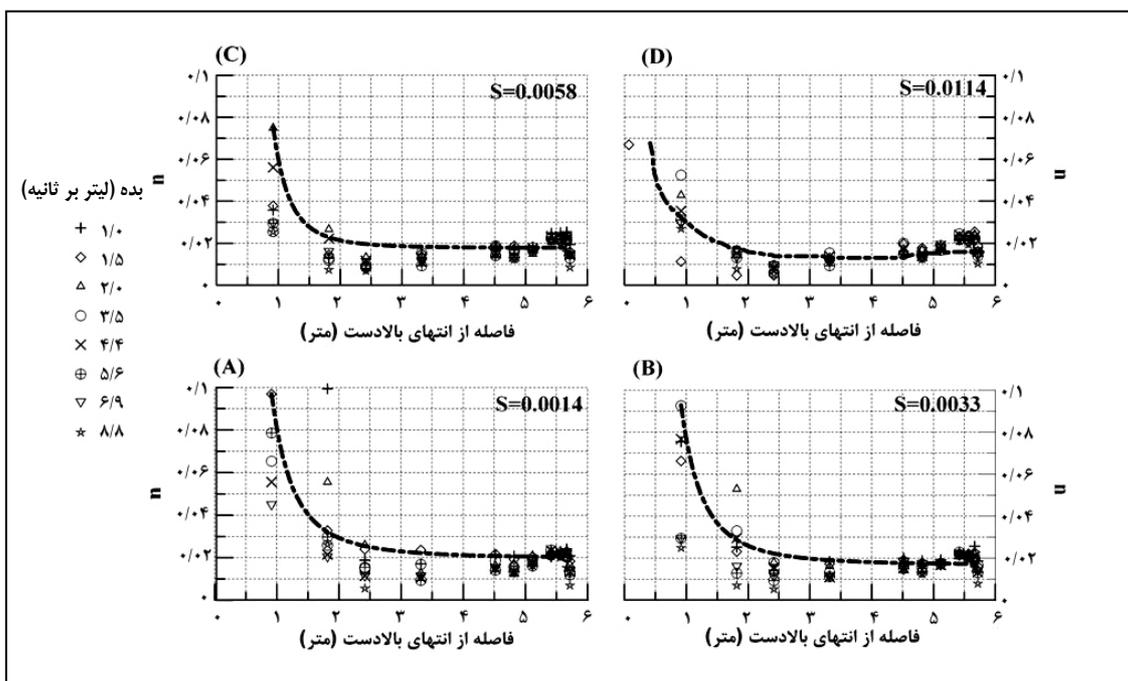
نحوه ورود آب از شیارها به درون لوله به صورت زبری ظاهری به جریان تحمیل می‌شود. همچنین توزیع سرعت را در مقطع عرضی برهم می‌زند و ضریب تصحیح انرژی جنبشی یا اندازه حرکت اهمیت پیدا می‌کند. به این ترتیب به ضرایب زبری ارائه شده در نمودارهای شماره ۹ و ۱۰ باید توجه خاص شود زیرا منعکس کننده «شرایط واقعی جریان» هستند.

همچنین شکل‌های فوق نشان می‌دهد که در طول قابل توجهی از لوله‌های مورد بررسی، که بر اساس نتایج به دست آمده از شکل‌های شماره ۷ و ۸ جریان در آن طول، در محدوده جریان متلاطم زیر  $Re^* > 100$  قرار دارد، تغییرات ضریب زبری قابل توجه نیست و می‌توان مقداری متوسط برای آن پیشنهاد کرد.

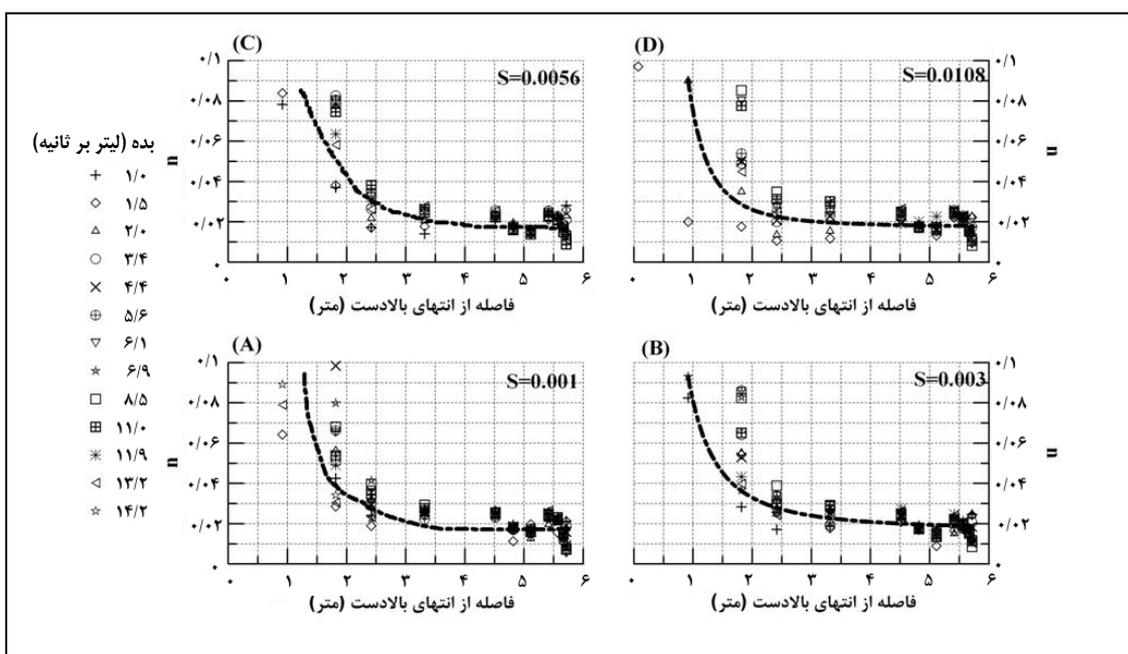
تغییرات ضریب زبری مانینگ که با محاسبه سرعت برشی و به کمک متوسط شیب خط انرژی در هر مقطع محاسبه شده است برای هر قطر و شیب‌های طولی مختلف در شکل‌های شماره ۹ و ۱۰ ارائه شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود تغییرات ضریب زبری در تمام نیمرخ‌ها از بالادست لوله به پایین دست آن کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که یک منحنی بر تمام نیمرخ‌های هر شیب قابل انطباق است. این کاهش علی‌الاصول با افزایش عدد رینولدز در همان امتداد مطابقت دارد. اما مقادیر زبری به دست آمده با مقادیر ارائه شده در نمودارهای شماره ۴ و ۵ تطابق ندارد. از آنجا که جریان در لوله‌های موجدار شیاردار از نوع متغیر مکانی است، این عدم تطابق دور از انتظار نیست زیرا علاوه بر زبری نسبی لوله،

در حال حاضر استفاده از روابط جریان یکنواخت و غیریکنواخت در طراحی زهکش‌ها متداول است و نمی‌توان در این روابط اثر غیریکنواختی توزیع سرعت را به سادگی منظور کرد. به همین دلیل پیشنهاد صورت جدیدی از آن فرمول‌ها بدون منظور کردن غیریکنواختی توزیع سرعت و صرفاً با استفاده از ضریب زبری پیشنهادی ارائه شده است.



شکل شماره ۹- تغییرات  $n$  نسبت به فاصله از بالادست برای لوله با قطر ۱۱۵ میلی‌متر و شیب‌های مختلف



شکل شماره ۱۰- تغییرات  $n$  نسبت به فاصله از بالادست برای لوله با قطر ۱۸۲ میلی‌متر و شیب‌های مختلف

داشت. بر این اساس معادلات متداول برای ضرایب زبری فوق در سیستم آحاد SI به صورت معادله‌های زیر در می‌آیند:

#### - معادله جریان یکنواخت

$$Q = 16d^{2.67}i^{0.5} \quad (5)$$

#### - معادله جریان غیریکنواخت

$$Q = 27d^{2.67}i^{0.5} \quad (6)$$

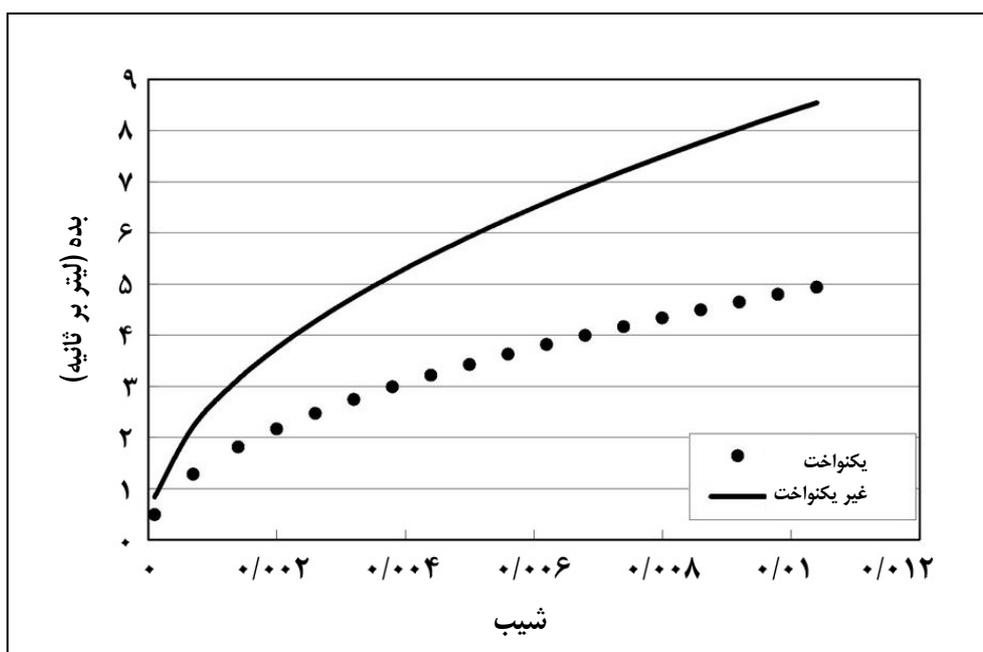
علائم به کار رفته و آحاد این دو معادله قبلاً تعریف شده‌اند.

حل معادلات فوق برای بده و شیب منجر به ارائه شکل‌های شماره ۱۱ و ۱۲ شده است. بنابراین، استفاده از روابط فوق یا نمودارهای حاصل در طراحی توصیه می‌شود.

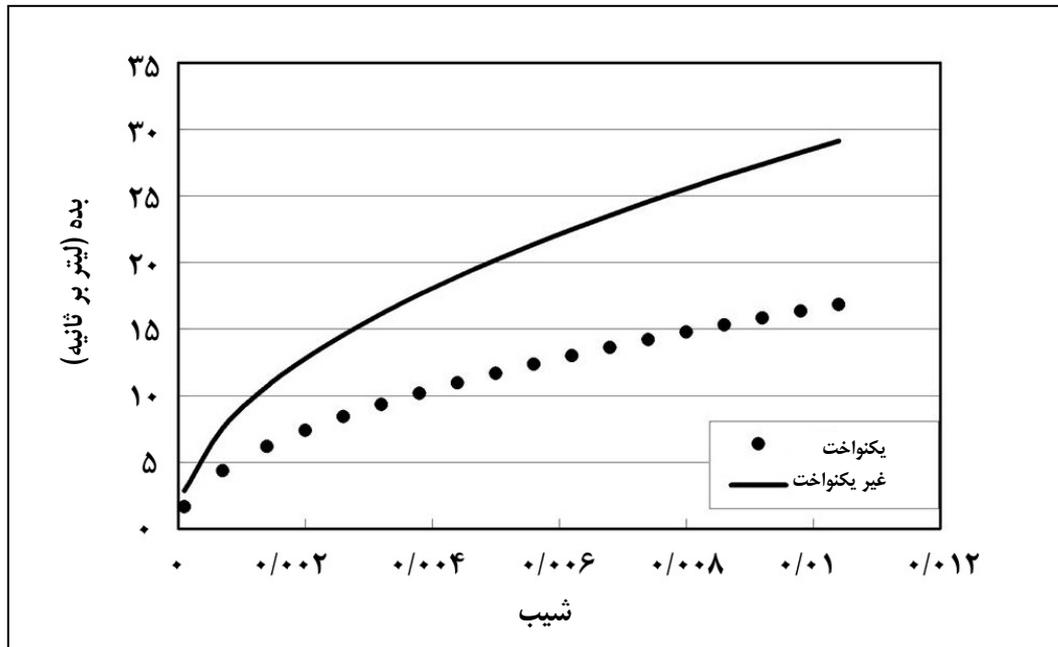
#### - روابط پیشنهادی کاربردی برای لوله‌های مورد مطالعه

با مطالعه تغییرات  $n$  نسبت به فاصله در شکل‌های شماره ۹ و ۱۰، این نتیجه را می‌توان گرفت که در طول قابل توجهی از لوله‌های مورد بررسی، تغییرات ضریب زبری زیاد نیست و مطابق آنچه در قسمت افقی منحنی‌های برازش داده شده بر نیمرخ‌های موجود در هر شیب مشاهده می‌شود، مقدار متوسط ۰/۰۲ را برای ضریب زبری لوله‌های یاد شده، می‌توان منظور کرد. در بالادست لوله به دلیل بده و سرعت کم جریان، ضرائب زبری بالایی را ایجاد کرده است که اهمیت چندانی ندارد و تقریباً در دو سوم طول لوله از لبریز به سمت بالادست تغییرات ناچیزی وجود دارد.

با توجه به نتایج فوق به نظر می‌رسد که استفاده از ضریب زبری مانینگ ۰/۰۲ برای لوله‌های با قطر ۱۱۵ و ۱۸۲ میلی‌متری نتایج رضایت بخشی خواهد



شکل شماره ۱۱- تغییرات بده نسبت به شیب برای لوله با قطر ۱۱۵ میلی‌متر و ضریب زبری ۰/۰۲



شکل شماره ۱۲- تغییرات بده نسبت به شیب برای لوله با قطر ۱۸۲ میلی‌متر و ضریب زبری ۰/۰۲

### نتیجه‌گیری

گردید. بررسی تغییرات عدد رینولدز برشی نشان داد که جریان در طول قابل توجهی از لوله از نظر هیدرولیکی زبر است. همچنین در این طول تغییرات ضریب زبری زیاد نیست و می‌توان مقدار متوسط ۰/۰۲ را برای آن پیشنهاد کرد. بر این اساس، برای لوله‌های با قطر ۱۱۵ و ۱۸۲ میلی‌متری و با استفاده از ضریب زبری پیشنهاد شده معادلات متداول تعدیل و نمودار مناسبی برای استفاده در طراحی زهکش‌ها ارائه شد.

ثبت نتایج و مشاهده‌های آزمایشگاهی مربوط به لوله‌های تحت فشار و مقایسه موقعیت نمودارهای رسم شده برای برداشت‌ها در دیاگرام مودی منجر به ارائه زبری‌های مطلق ۴/۶ و ۲/۲ میلی‌متر برای لوله‌های با قطر ۱۱۵ و ۱۸۲ میلی‌متری شد. با استفاده از این زبری‌ها برای برداشت‌های آزمایشگاهی مربوط به جریان با سطح آزاد، اعداد رینولدز برشی در هر مقطع از طول لوله تعیین

**قدردانی**

این مقاله از طرح «تعیین مشخصات هیدرولیکی لوله‌های موجدار مشبک جهت استفاده در زهکش‌های زیرزمینی» استخراج شده است. بدین وسیله از مدیر کل محترم دفتر توسعه شبکه‌های آبیاری و تجهیز و نوسازی اراضی کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی برای فراهم آوردن امکان اجرای طرح تشکر می‌شود. همچنین از شرکت مهندسی خدمات آب و خاک کشور برای تأمین لوله‌های مورد نظر تشکر می‌شود.

**مراجع**

- 1- Alizadeh, A. 1986. Land drainage. Ferdowsi University press No. 96. (In Farsi)
- 2- Anon. 2001. Investigation of mechanical properties of drainage pipes. Report of Water and Soil Services Company. (In Farsi)
- 3- Broughton, S., Makhlof, M. A. and Metzger, J. 1990. Features of large diameter corrugated polyethylene pipes manufactured at Aga, Egypt. Proceedings of Symposium on Land Drainage for Salinity Control in Arid and Semi-arid Regions. Vol. 3. Cairo. Egypt. 142-1551.
- 4- Douglas, J. F., Gasiorek, J. M. and Swaffield, J. A. 1985. Fluid mechanics. Longman Scientific and Technical. London.
- 5- Henderson, F. M. 1966. Open channel flow. Macmillan. N.Y.
- 6- Kouchakzadeh, S., Bagheri, F. and Mahdavi, A. 2004. Application assessment of the conventional drain diameter design formulas based on actual free surface spatially varied flow conditions. Agric. Sci. (University of Tabriz). 14(1): 87-103. (In Farsi)
- 7- Kouchakzadeh, S. and Bagheri, F. 2003. Design criteria for drainage pipes based on spatially varied flow equation. Research Report. Ministry of Energy. Iran Water Resources Management Organization. (In Farsi)
- 8- Kouchakzadeh, S. and Bagheri, F. 2003. Determination of roughness coefficient for corrugated drainage pipes based on real flow conditions. J. of Agric. Sci. (University of Tehran). 34(3): 681-692. (In Farsi)
- 9- Kouchakzadeh, S. and Bagheri, F. 2004. Carrying capacity of corrugated drainage pipes: Uniform or non-uniform flow formula? J. of Agric. Sci. 35(2): 445-452. (In Farsi)

- 10- Ritzema, H. P. 1994. Drainage principles and application. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Pub. No. 16.
- 11- Sturm, T. W. 2001. Open channel hydraulics. McGraw-Hill. N.Y.
- 12- Subramanya, K. 1986. Flow in open channels. Tata McGraw-Hill. New Delhi.
- 13- Zaghoul, N. A. 1998. Flow simulation in circular pipes with variable roughness using SWMM-EXTRAN model. J. of Hydra. Engrg. 124(1): 73-76.

## **Hydraulic Performance of Corrugated Pipes and Developing Applied Conveyance Relations for Corrugated Pipes Based on their Hydraulic Performance**

**S. Kouchakzadeh, M. Akram and F. Bagheri**

The determination of friction factors for real flow conditions in corrugated pipes used in subsurface drainage system was the main purpose of this research. The absolute or relative roughness of these pipes could not be determined directly. Therefore, by using two independent experimental setups the flow characteristics within these kinds of pipes were investigated. The first setup was used for studying pressurized flow and the second one was employed for investigating the free spatially varied flow which was mainly faced in field conditions. Data of the first setup revealed the effective absolute roughness values of 4.6 mm and 2.18 mm for the employed pipe diameters of 115 mm and 182 mm, respectively. These values assisted analysis of the second setup data. Based on the obtained results the actual friction factor for the corrugated pipes was proposed. Accordingly, using the proposed value the traditional formulas for these pipes were modified and presented herein.

**Key words:** Corrugated pipes, Effective Roughness, Reynolds Number, Shear Stress, Spatially Varied Flow, Subsurface Drainage