



Experimental Study of roughness coefficient in smooth and corrugated drainage pipes with envelop and non-envelop

Mohammad Mohebian Bone Bazari ¹ | **Hamid Zare Abyaneh** ²✉

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail:

mmb141@yahoo.com

2. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan,

Iran. E-mail: zare@basu.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: March. 11, 2023

Revised: Aug. 21, 2023

Accepted: Oct. 1, 2023

Published online: Nov. 22, 2023

Keywords:

Manning Coefficient,
Ganguillet-Kutter,
Combined Roughness Coefficient
of Reynolds and Darcy Weisbach,
Smooth and Corrugated Pipe,
Drainage Envelope.

ABSTRACT

Roughness coefficient is an effective factor on water velocity and discharge in drain pipes. Roughness coefficient in experimental box model with dimensions of 100×41×56cm was evaluated with two pipes of smooth and corrugated in a diameter of 63 and 56mm by three series of independent tests. The first set was done on pipes with mineral envelop, the second set on pipes with synthetic materials and the third one on pipes without envelop. The mean values of "n" Manning's in the smooth pipe with synthetic and mineral envelop and non-envelop materials were measured 0.0106, 0.0111, 0.011, and for the corrugated pipe 0.0088, 0.009, 0.0091. The mean values of "n" Ganguillete-Kutter's in the smooth pipe with synthetic and mineral envelop and non-envelop materials were obtained 0.0048, 0.0048, 0.0048, and for the corrugated pipe 0.0041, 0.0042, 0.0042. The "n" values from the Reynolds-Darcy Weissbach combination formula in the smooth pipe with synthetic and mineral envelop and non-envelop materials were calculated to be 0.0050, 0.0050, 0.0049 and for the corrugated pipe 0.0048, 0.0048, 0.0049. Two evaluation indexes (R² and RMSE Error Value) indicated a better result for n value obtained by Ganguillet-Kutter formula. The flow inside the drainage pipes is a turbulent and spatially variable which is affected by the small flows entering the pipe through holes. This flow pattern, while disrupting the uniform distribution of the transverse velocity of the flow, caused flow inhibition and increased Manning's roughness coefficient in the first 30 cm due to the flow rate and low flow speed compared to the second 30 cm. The negligible difference between "n" Manning's with "n" Ganguillete-Kutter's is not important and applying 0.011 for Manning coefficient in smooth pipe and 0.009 for corrugating pipe with envelop is satisfactory.

Cite this article: Mohebian Bone Bazari, M., & Zare Abyaneh, H. (2023) Experimental Study of roughness coefficient in smooth and corrugated drainage pipes with envelop and non-envelope, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (9), 1381-1396. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356581.669466>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.



DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356581.669466>

ضریب زبری در لوله‌های زهکشی پوشش‌دار و بدون پوشش صاف و موجدار

محمد محیبان بن بازاری^۱ | حمید زارع ابیانه^۲ ۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران. رایانامه: mmb141@yahoo.com۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران. رایانامه: zare@basu.ac.ir

| اطلاعات مقاله | چکیده |
|----------------------------------|---|
| نوع مقاله: مقاله پژوهشی | ضریب زبری پارامتری موثر در سرعت و بده آب در لوله‌های زهکشی است. ضریب زبری در مدل فیزیکی به ابعاد $56 \times 41 \times 100$ سانتی‌متر به کمک سه سری آزمایش مستقل در دو لوله صاف و کنگره‌دار به قطر ۶۳ و ۵۶ میلی‌متر فاقد پوشش، دارای پوشش مواد معدنی و مصنوعی (توری) تعیین شد. میانگین ضریب زبری مانینگ برای لوله صاف با پوشش مصنوعی، معدنی، بدون پوشش $0/0106$ ، $0/0111$ ، $0/011$ و برای کنگره‌دار $0/0088$ ، $0/009$ ، $0/0091$ به دست آمد. میانگین ضریب زبری مانینگ از رابطه کانگلیت-کاتر برای لوله صاف با پوشش مصنوعی، پوشش معدنی، بدون پوشش $0/0048$ ، $0/0048$ ، $0/0048$ و برای کنگره‌دار $0/0041$ ، $0/0042$ ، $0/0042$ به دست آمد. میانگین n مانینگ از رابطه ترکیبی رینولدز-دارسی و بیسباخ برای لوله صاف با پوشش مصنوعی، پوشش معدنی، بدون پوشش $0/005$ ، $0/005$ ، $0/005$ و برای کنگره‌دار $0/0048$ ، $0/0048$ ، $0/0049$ محاسبه آماره‌های RMSE و R^2 بیان‌گر خطای کمتر رابطه کانگلیت-کاتر بود. جریان درون لوله‌های زهکشی از نوع متغیر مکانی و متلاطم است که متاثر از نحوه ورود جریان‌های کوچک از منافذ به‌درون لوله است. این حالت ضمن برهم زدن توزیع یکنواخت سرعت عرضی جریان، موجب بازدارندگی جریان و افزایش ضریب زبری مانینگ در 30 سانتی‌متر اول به دلیل دبی و سرعت کم جریان نسبت به 30 سانتی‌متر دوم شد. تفاوت ناچیز بین مقادیر ضریب زبری مانینگ با ضریب مانینگ کانگلیت-کاتر، کم اهمیت است و اعمال ضریب مانینگ $0/011$ برای لوله صاف پوشش‌دار و $0/009$ برای لوله کنگره‌دار پوشش‌دار رضایت‌بخش است. |
| تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰ | |
| تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۵/۳۰ | |
| تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۹ | |
| تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۹/۱ | |
| واژه‌های کلیدی: | |
| ضریب مانینگ، | |
| کانگلیت-کاتر، | |
| ضریب زبری ترکیبی رینولدز و دارسی | |
| و بیسباخ، | |
| لوله‌های صاف و موجدار، | |
| پوشش زهکشی. | |

استناد: محیبان بن بازاری؛ محمد، زارع ابیانه؛ حمید، (۱۴۰۲) ضریب زبری در لوله‌های زهکشی پوشش‌دار و بدون پوشش صاف و موجدار، مجله تحقیقات آب و خاک ایران،

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356581.669466> ۵۴ (۹)، ۱۳۹۶-۱۳۸۱.

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356581.669466>

مقدمه

حفظ قابلیت اراضی کشاورزی موجود با توجه به لزوم تأمین نیاز غذایی جمعیت رو به افزایش دنیا، امری بایسته و جدی است. زهکشی اراضی یا ترکیب آبیاری و زهکشی زمین، یکی از مهم‌ترین راه‌کارهای حفظ و نگهداری اراضی و یا افزایش عملکرد زمین‌های زراعی می‌باشد (Ritzema, 1994). یکی از اقدامات مهم مدیریتی، طراحی سامانه‌های آبیاری و زهکشی به‌موازات توسعه پروژه‌های صنعتی و کشاورزی و افزایش جمعیت است. گسترش کشاورزی، آبیاری بی‌رویه و پایین بودن ظرفیت تخلیه طبیعی اراضی، سبب خیز سطح ایستابی، افزایش شوری خاک و نیازمندی اراضی به زهکشی می‌شود (حسن‌اقلی و پدرام، ۱۳۹۱). بنابراین زهکشی اراضی در تعیین سرنوشت پروژه‌های منابع آب، حفظ زمین‌های زراعی با خارج‌سازی آب‌های سطحی، مدیریت سفره آب زیرزمینی کم عمق، مدیریت کیفیت آب و حفظ محیط زیست برای رسیدن به منافع دلخواه اقتصادی و اجتماعی جایگاه ویژه‌ای دارد (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴؛ و AbdelDaïem, 2005). برای عملکرد پایدار و مناسب زهکش‌های زیرزمینی، انتخاب مواد مناسب شامل لوله و مصالح پوشش زهکش، نصب و نگهداری آن‌ها ضرورت دارد. وجود پوشش در اطراف لوله‌های زهکشی در افزایش عملکرد و عمر مفید سامانه زهکشی بسیار مؤثر می‌باشد. انتخاب پوشش مناسب لوله‌های زهکش یکی از عوامل مؤثر در طراحی و کارآمدی سامانه‌های زهکشی است (ابراهیمیان و همکاران، ۱۳۸۹). مطالعات انجام شده در هلند نشان می‌دهد حدود ۸۰ درصد از شکست در پروژه‌های زهکشی در نتیجه عدم طراحی مناسب پوشش‌های زهکشی می‌باشد (کریمی، ۱۳۹۵). عملکرد پوشش لوله‌های زهکش باید به‌گونه‌ای باشد که امکان عبور ذرات معلق و کلوئیدی خاک را به‌خصوص در شروع بهره‌برداری از شبکه زهکشی فراهم نماید و در عین حال از ورود ذرات فرسایش یافته خاک به‌درون لوله زهکش جلوگیری کند. پوشش حجیم مواد معدنی شن و ماسه در پیرامون لوله‌های زهکشی یکی از رایج‌ترین انواع پوشش‌ها در ایران و اکثر مناطق زهکشی جهان است. دوری معادن طبیعی و برداشت بی‌رویه از معادن شن و ماسه سبب وضعیت نامناسب اقتصادی و زیست‌محیطی منابع قرصه شده است. عدم یکنواختی دانه‌بندی ذرات ریز و درشت به‌واسطه تخلیه و بارگیری‌های متعدد، احتمال ورود رسوبات به‌داخل لوله زهکش و گرفتگی آن‌را افزایش می‌دهد (حسن‌اقلی و پدرام، ۱۳۹۱؛ حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴). مهدی‌نژادپانی و همکاران (۱۳۸۷) با مطالعه آزمایشگاهی بر روی یک نمونه خاک دانشکده کشاورزی اهواز رفتار پوشش مصنوعی پلی‌پروپیلن ۴۵۰ (PP450) در مقایسه با پوشش مواد معدنی شن و ماسه، کاهش بیشتر دبی خروجی و هدایت هیدرولیکی مجموع خاک و پوشش را نسبت به زهکش با پوشش معدنی گزارش نمودند. یوری و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی عملکرد سه نوع پوشش مواد معدنی، مواد آلی و مواد مصنوعی (توری‌های پلاستیکی) به کمک مدل فیزیکی نشان دادند دبی خروجی از زهکش با پوشش مواد معدنی بیش از دو پوشش دیگر است. در عین حال مواد آلی مانند پوسته برنج گزینه مناسبی برای پوشش زهکش‌های زیرزمینی است. کریمی (۱۳۹۵) با شبیه‌سازی آزمایشگاهی مقادیر هدایت هیدرولیکی و نسبت گرادیان برای سه محیط خاک-پوشش، خاک و پوشش برحسب بار هیدرولیکی و مقدار دبی خروجی از زهکش برای دو نوع پوشش مواد معدنی و پوشش مصنوعی پلی‌پروپیلن ۴۵۰ انجام شد. پردازش داده‌ها در برنامه آماری برازش نمودار^۱ و برازش مدل‌های مختلف آماری نشان داد رابطه بین مقادیر هدایت هیدرولیکی خاک منطقه شمال خرمشهر و پوشش با دبی خروجی از زهکش از نوع معادله درجه یک و با ارتفاع هیدرولیکی به‌صورت معادله درجه دو است.

یکی از الزامات تعیین قطر و ظرفیت تخلیه لوله‌های زهکشی در طراحی مقاطع جریان و حتی طراحی راه‌ماهی‌ها، آگاهی از ضریب زبری است که در حال حاضر طراحان از ضرایب ثابت جدولی تحت شرایط جریان کامل استفاده می‌نمایند. این امر منجر به خطای حدود ۱۱ درصدی قطر تعیین شده با ضرایب زبری ثابت می‌گردد (Mangin, 2010). تاثیر زبری بر میزان تخلیه در مواردی به غیر از لوله‌های زهکشی، به‌واسطه توسعه یک لایه بیولوژیکی در سطح داخلی لوله‌های فاضلاب و به‌تبع کاهش مقدار جریان ناشی از افزایش رسوبات و افزایش زبری بستر جریان نیز گزارش شده است (Guzmán, 2007). لذا در محاسبات ظرفیت تخلیه لوله‌های زهکشی آگاهی از ناهمواری جدار داخلی آن‌ها ضرورت دارد که در این خصوص، معمولاً از ضرایب زبری تجربی در شرایط مختلف لوله‌های زهکش منفذدار و بدون منفذ، جریان کامل یا نیمه پر استفاده می‌شود (FAO, 2005). ضریب زبری لوله‌های زهکشی معمولاً از روابط داریسی و ایسباخ (f) و مانینگ (n) قابل تعیین است (کوچک‌زاده و همکاران، ۱۳۸۵). Irwin and Motycka (1979) با انجام آزمایشاتی مقادیر ضریب زبری داریسی - و ایسباخ و مانینگ در لوله‌های زهکشی پلاستیکی کنگره‌دار برای اقطار ۲۰۰ میلی‌متر را به‌ترتیب ۰/۰۸۲ و ۰/۰۱۹ و ۲۵۰ میلی‌متر ۰/۰۶۸ و ۰/۰۱۸ و ۳۰۰ میلی‌متر ۰/۰۹۵ و ۰/۰۲۲ به‌دست آوردند. Subramanya (1986)، تغییرات حداکثر و حداقل ضریب زبری مانینگ به‌ازای

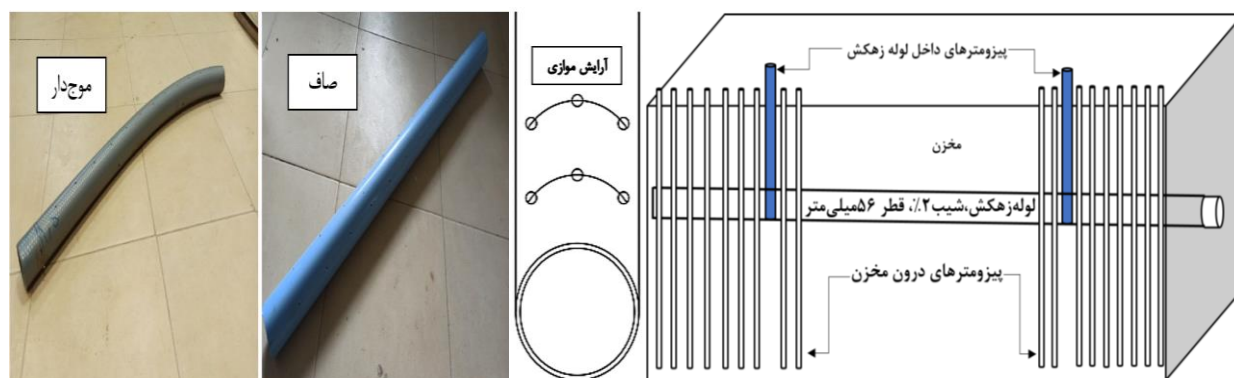
تغییرات عمق جریان (y) برای مقاطع دایره‌ای با قطر d را به ترتیب در بازه $y=0$ و $y=d$ گزارش نموده است. (Zaghloul, ۱۹۹۸) نیز تغییرات ضریب زبری به‌ازای تغییرات عمق جریان در مقاطع دایره‌ای و افزایش ضریب زبری در لوله‌های نیمه پر را نسبت به لوله‌های پر گزارش نمود. (Abdullah et al, 2023) در دانشگاه علوم مالزی، مقدار n مانینگ را پارامتری اساسی در تخمین زبری یک لوله زهکش برای رواناب‌های شهری نفوذ یافته به خاک دانستند. آنان مقدار n در یک لوله با شش ردیف سوراخ در دو شیب ۱:۱۰۰۰ و ۱:۷۵۰ را بین ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۰۹ به‌دست آوردند. ضریب زبری به جنس لوله (فلزی، پلاستیکی، سیمانی، سفالی) و شرایط هیدرولیکی بستر جریان نظیر لوله‌های صاف، کنگره‌دار و دیگر بسترهای مشابه بستگی دارد که در اثر فشار بارهای خارجی وارده به لوله‌ها، گذر زمان و کیفیت زه‌آب‌ها تغییر می‌کند (Tullis, et al, 2006). سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۳۹۴) مقدار ضریب زبری را در راهنمای طرح و اجرای لایه‌های روسازی با زهکش مناسب، برای اقطار معمول لوله‌های زهکشی صاف، ۰/۰۱۲ و برای لوله‌های کنگره‌دار، ۰/۰۲۴ پیشنهاد داده است. (Gupta 2019) مقادیر ضریب مانینگ برای لوله‌های بتنی و آریست در شرایط جریان کامل یا نیمه پر را ۰/۰۱۳ و در بازه ۰/۰۱۱ تا ۰/۰۱۵، برای تنبوشه‌های سفالی ۰/۰۱۳ و در بازه ۰/۰۱۱ تا ۰/۰۱۷، برای لوله‌های کنگره‌دار پلاستیکی تحت شرایط جریان کامل با قطر ۴۰ و ۵۰ میلی‌متر ۰/۰۱۴ و لوله‌های پلی‌اتیلن با قطر ۵۰ و ۷۵ میلی‌متر ۰/۰۱۶ گزارش داده است. باید به این نکته توجه داشت که به‌کارگیری مقدار نامتعارفی از ضریب زبری بیش از مقدار واقعی با توجه به نقش نیروی مقاومتی آن در مقابل جریان، سبب برآورد کمتر دبی و بالعکس می‌شود که در شبیه‌سازی‌ها و طراحی‌ها می‌تواند خطاهای زیادی ایجاد نماید (Clemmens et. al, 2001).

بررسی منابع نشان داد مطالعه در عملکرد لوله‌های زهکشی، کماکان یکی از موضوعات مورد علاقه پژوهش‌گران است که تحقیقات محدودی در خصوص ضریب زبری لوله‌های زهکش صاف و کنگره‌دار دارای پوشش و فاقد پوشش صورت گرفته است. افزایش هزینه‌های حمل و نقل، بالا بودن هزینه‌های نصب به دلیل نیازمندی به یک ترانشه عریض تر و محدودیت محیط زیستی به‌واسطه کمبود منابع قرضه برای پوشش‌های معدنی، موجب تمایل به استفاده از پوشش‌های مصنوعی و تحقیق در مدل‌های آزمایشگاهی شده است. از طرفی تاثیر رفتار جریان در ارتباط با ضرایب شزی و مانینگ برای لوله‌های زهکش کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی وضعیت ضریب زبری دو نوع لوله زهکش صاف و کنگره‌دار در محیط آزمایشگاه با استفاده از مدل فیزیکی مخزن خاک در سه حالت بدون پوشش، پوشش مصنوعی (توری پلاستیکی) تولید داخل کشور و پوشش مواد معدنی مطابق معیار دفتر عمران اراضی آمریکا^۱ (U.S.B.R) در یک خاک شنی است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام آزمایش‌ها از یک مدل فیزیکی، مشابه با شرایط یک ترانشه زهکشی استفاده شد. در شکل ۱، شماتیک مدل فیزیکی مورد استفاده با ابعاد $۱۰۰ \times ۴۱ \times ۵۶$ سانتی‌متر (طول \times عرض \times ارتفاع) نشان داده شده است. در عین حال تحقیق بر روی مواد پوششی در لوله‌های زهکشی معمولاً پس از انجام در آزمایشگاه در قالب مدل‌های فیزیکی، به‌صورت مزرعه‌ای نیز باید مورد آزمون قرار گیرد (پذیرا و همکاران، ۱۳۸۷). این پژوهش در آزمایشگاه آبیاری و زهکشی دانشگاه بوعلی‌سینا در سال ۱۴۰۰ انجام شد. یک لوله زهکش به‌طول ۱۰۰ سانتی‌متر در ۲۵ سانتی‌متری از کف در امتداد طول مدل با شیب ۲ درصد نصب شد (کوچک‌زاده و باقری، ۱۳۸۲؛ IPC^۲, 2021). از یک لوله زهکشی انتظار می‌رود که از قدرت کافی برای کنترل و مقاومت در برابر فشارهای محیط اطراف برخوردار باشد. همچنین انتظار است تا بتواند آب اضافی زیرزمینی از محیط پیرامونی را جمع‌آوری و به‌عنوان مجرای برای انتقال آب جمع‌آوری شده عمل کند. آب خروجی از لوله زهکش در ۹ گام زمانی متفاوت به‌صورت حجمی اندازه‌گیری شد. پایش تراز سطح آب داخل لوله زهکش، به‌کمک دو مانومتر ۸ میلی‌متری تعبیه شده در انتهای نیمه پائینی ۳۰ سانتی‌متر اول و ۳۰ سانتی‌متر دوم لوله زهکش انجام شد. برای پایش سطح ایستابی درون خاک نیز از ۱۸ مانومتر به‌فاصله ۵ سانتی‌متر از یکدیگر جانمایی شده در امتداد کف مدل فیزیکی استفاده شد (شکل ۱، چپ). سطح منافذ زهکشی روی محیط لوله به‌میزان ۸۰۰ میلی‌متر مربع در واحد طول در سه ردیف ۱۴ تایی با فاصله ۷ سانتی‌متر جانمایی شدند (نوذری و همکاران، ۱۳۹۶). قطر منافذ زهکشی ۵ میلی‌متر بود که در آرایش موازی، به‌صورت دستی، در نیمه بالایی لوله توسط مته به‌تعداد ۴۲ منفذ تعبیه شدند (شکل ۱). تمامی آزمایش‌ها به‌صورت مستقل در دو تیپ لوله صاف ۶۳ میلی‌متر با قطر داخلی ۵۷ میلی‌متر و کنگره‌دار ۵۶ میلی‌متر با قطر داخلی ۵۰ میلی‌متر به‌عنوان اقطار موجود در بازار انجام شد. در کشورهای اروپایی حداقل قطر لوله‌های زهکش ۵۰ یا ۶۰ میلی‌متر و در آمریکای

شمالی از جمله ایالات متحده ۱۰۰ میلی‌متر است. به‌عنوان نمونه در کشور انگلستان اندازه استاندارد لوله‌های زهکشی برحسب قطر داخلی آن‌ها ۵۰، ۶۵، ۷۵، ۸۰، ۱۰۰، ۱۳۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ میلی‌متر است (FAO, 2005). برای هر تیپ لوله از سه حالت بدون پوشش، پوشش مواد معدنی (شن و ماسه) و پوشش مواد مصنوعی (توری پلاستیکی) استفاده شد.



شکل ۱. از راست شامل: لوله زهکش صاف و کنگره‌دار، آرایش منافذ روی لوله زهکش، شماتیک مدل فیزیکی، پیزومترها و لوله زهکش درون مخزن

در مجموع ۶ سری آزمایش مستقل، در دو لوله صاف و کنگره‌دار شامل دو حالت پوشش‌دار (مواد معدنی و مواد مصنوعی) و یک حالت بدون پوشش انجام شد. برای پوشش مواد معدنی، از دو معیار پیشنهادی ترازقی یعنی $D_{15} \geq 4d_{15}$ و $D_{15} \leq 4d_{15}$ در منحنی دانه‌بندی استفاده شد (جعفری توکلایی و همکاران، ۱۳۹۲). مقادیر d_{15} و d_{85} (قطری از ذرات خاک که ۱۵ و ۸۵ درصد از ذرات قطری کوچک‌تر از آن را دارند) در منحنی دانه‌بندی خاک به ترتیب $d_{15} = 0.33$ و $d_{85} = 0.317$ اندازه‌گیری شد و براین اساس D_{15} مواد پوشش باید بیش از ۰/۱۳ و کمتر از ۱/۲۷ میلی‌متر باشد. برای آماده‌سازی مدل فیزیکی، ابتدا نیمه تختانی مدل از خاک پر و سپس لوله زهکش به صورت بدون پوشش و با پوشش نصب شد. برای پوشش مواد معدنی مطابق معیار U.S.B.R و با توجه به d_{60} خاک، حد بالا و پایین منحنی دانه‌بندی پوشش معدنی تعیین شد. برای پوشش مواد مصنوعی از توری پلاستیکی با مشخصات مش ۲ میلی‌متری براساس معیار $1 \leq \frac{D_{90}}{d_{90}} \leq 2.5$ استفاده گردید. سایر معیارها نظیر معیار هیدرولیکی، مهیار جلوگیری از انسداد روزنه‌ها و معیار مکانیکی و مقاومت نیز مطابق توصیه‌های مربوط به پوشش‌های مصنوعی لحاظ شد (مهیدی‌نژادای و همکاران، ۱۳۸۷). در آخرین مرحله از آماده‌سازی، نسبت به پر کردن نیمه بالایی مدل با خاک تا ۲ سانتی‌متری لبه بالایی اقدام شد. خاک مورد نیاز ترکیبی از خاک ماسه‌ای و رسی اطراف دانشکده در مختصات طول جغرافیایی ۴۸/۴۸ درجه شمالی، عرض جغرافیایی ۳۴/۸۰ درجه شرقی بود. بافت خاک به روش تجزیه مکانیکی و آزمایش هیدرومتری، شنی تعیین شد. نودری و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی تغییرات شوری زه آب کشاورزی در فواصل مختلف نصب زهکش و Yang et al. (2023) از یک مدل فیزیکی مکعب مستطیل حاوی خاک شنی دارای لوله‌های زهکشی به قطر ۳۰ میلی‌متر بهره گرفتند. در مدل‌های فیزیکی، به‌علت محدودیت ایجاد ارتفاع مدل، معمولاً تمامی اندازه‌گیری‌ها نسبت به بستر تختانی مدل به‌عنوان لایه غیرقابل نفوذ گزارش می‌شود (نودری و همکاران، ۱۳۹۶؛ مداح‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶). قبل از شروع هر آزمایش و به‌منظور شکل‌گیری ساختمان خاک، مدل به‌طور کامل اشباع و خاک لازم برای جبران نشست به سطح بالایی اضافه شد. در هر آزمایش مقدار ۰/۰۱ مترمکعب در ساعت دبی به سطح فوقانی مدل اعمال و دبی خروجی از لوله زهکش در انتهای ۳۰ سانتی‌متر ابتدا و ۳۰ سانتی‌متر انتها در ۹ گام زمانی ۹ دقیقه‌ای اندازه‌گیری شد. در لوله‌های کنگره‌دار ارتفاع آب نسبت به کف شیارهای داخل لوله یا گودی موج‌ها سنجیده شد. تحلیل نتایج در قالب رابطه ضریب زبری مانینگ، ضریب دارسی ویسباخ و ضریب مانینگ حاصل از رابطه گانگیلت-کاتر متناظر با دبی‌های خروجی از لوله زهکشی در قالب معادله چند جمله‌ای درجه ۲ به‌همراه R^2 معادلات استخراجی ارزیابی شد.

در این آزمایش از رابطه مانینگ (رابطه ۱) جهت بررسی ضریب زبری استفاده شد. به‌عبارت دیگر ضریب زبری مانینگ در ۳۰ سانتی‌متر ابتدا و انتهای طول لوله با داشتن رقوم سطح آب و ارتفاع معادل سرعت در مانومترهای تعبیه شده در لوله زهکش، از رابطه ۱ محاسبه گردید. مقدار n محاسبه شده از رابطه مانینگ مبنای مقایسه مقدار n محاسباتی از دیگر روابط قرار گرفت. در مرحله بعدی با

محاسبه مقدار C شزی از رابطه $v = C\sqrt{RS}$ و اعمال آن در رابطه گانگلیت-کاتر (رابطه ۲) مقدار n جدیدی محاسبه شد (Ganguillet and Kutter, 1869). در سومین مرحله مقدار f دارسی و بسپاخ از رابطه $f = 64/R_n$ محاسبه و با اعمال آن در تساوی ضریب شزی با ضرایب دارسی و بسپاخ و مانینگ در رابطه ۳ مقدار n مانینگ جدیدتری به دست آمد.

$$Q = \frac{k}{n} AS^{\frac{1}{2}} R^{\frac{2}{3}} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$C = \frac{1.49 S^{\frac{1}{2}} R^{\frac{2}{3}}}{23 + \frac{1.49 S^{\frac{1}{2}}}{n}} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$$\begin{cases} C = \sqrt{\frac{\lambda g}{f}} \rightarrow n = \sqrt{\frac{f R^{\frac{2}{3}}}{\lambda g}} \\ C = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \end{cases} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

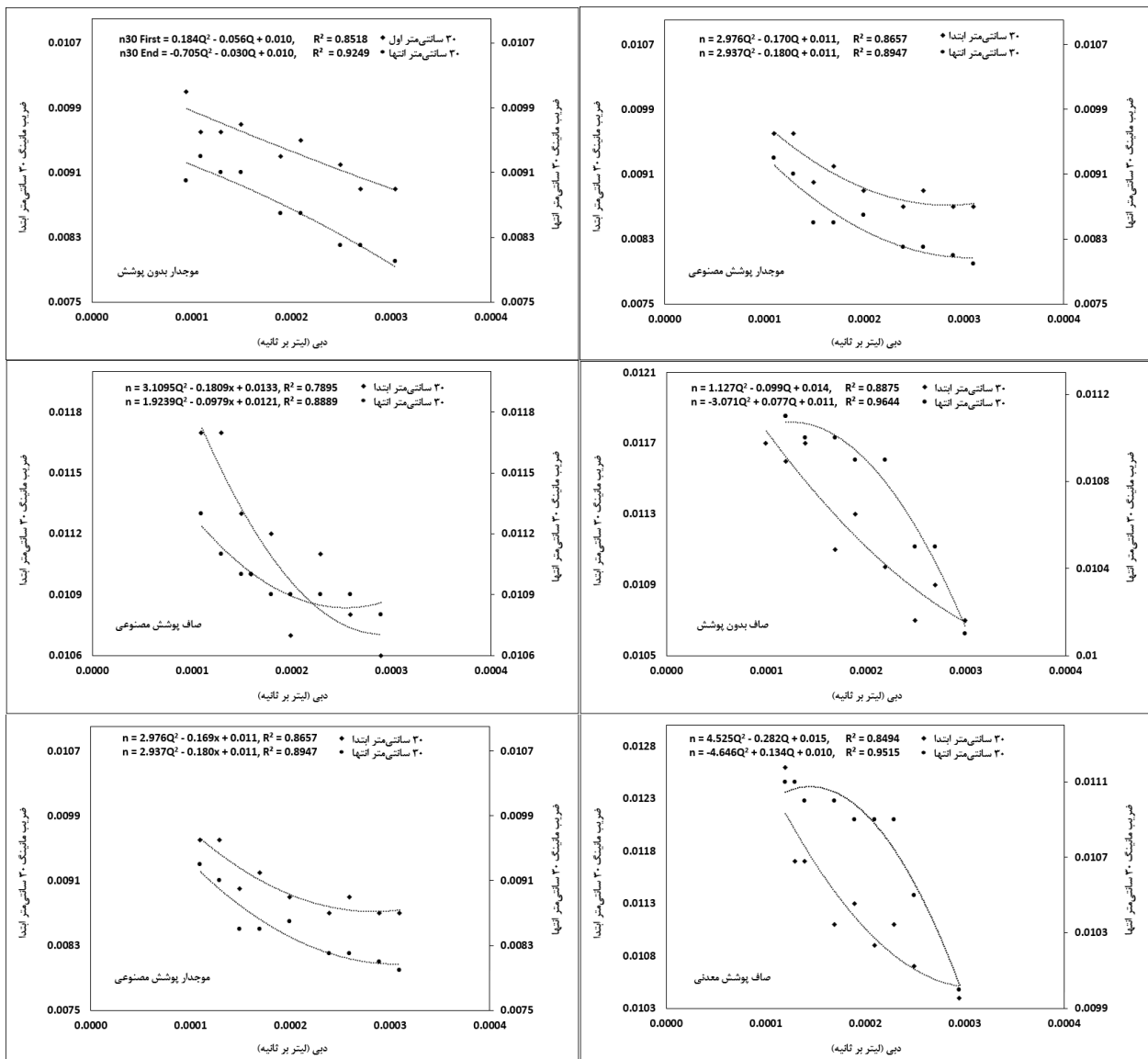
که Q دبی جریان (m^3/s یا ft^3/s)، f ضریب دارسی و بسپاخ (-)، R_n عدد رینولدز (-)، g شتاب گرانشی زمین (m/s^2 یا ft/s^2)، A مساحت خیس شده (m^2 یا ft^2)، k ضریب ثابت در سیستم ابعادی انگلیسی $1/486$ و در سیستم متریک $1/49$ ، R شعاع هیدرولیکی (ft یا m)، n ضریب مانینگ ($S/m^{5/3}$)، S شیب افقی مسیر جریان (ft/ft یا m/m) و C ضریب شزی ($S/m^{1/2}$) است. برای ارزیابی اعتبار نتایج، از تحلیل اختلاف بین مقادیر ضریب زبری مانینگ محاسباتی از رابطه ۱ با ضریب مانینگ حاصل از رابطه ۲ و ۳ در قالب آماره میانگین ریشه دوم خطا^۱ (RMSE) استفاده شد. برای تفسیر زبری بستر ضرایب مختلفی مانند شزی، مانینگ و دارسی وجود دارد. لیکن سهولت کاربرد و دقت قابل قبول در استفاده از رابطه مانینگ، موجب انتخاب این معادله به عنوان معادله مرسوم و مقبول برای برآورد و ارزیابی زبری توسط مهندسين و پژوهشگران شده است (رضایی‌راد و همکاران، ۱۴۰۰). هم‌چنین ضریب تعیین (R^2) با برازش مدل خطی درجه یک بر مقادیر متناظر به دست آمده از روابط ۲ و ۳ با مقادیر ضریب مانینگ رابطه ۱ نسبت به نیمساز ۴۵ درجه به دست آمد.

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{(رابطه ۴)}$$

که در آن P_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده و n تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده است. حداقل مقدار RMSE صفر است و مقادیر بیشتر از صفر نشان‌دهنده خطای اندازه‌گیری‌ها است.

نتایج و بحث

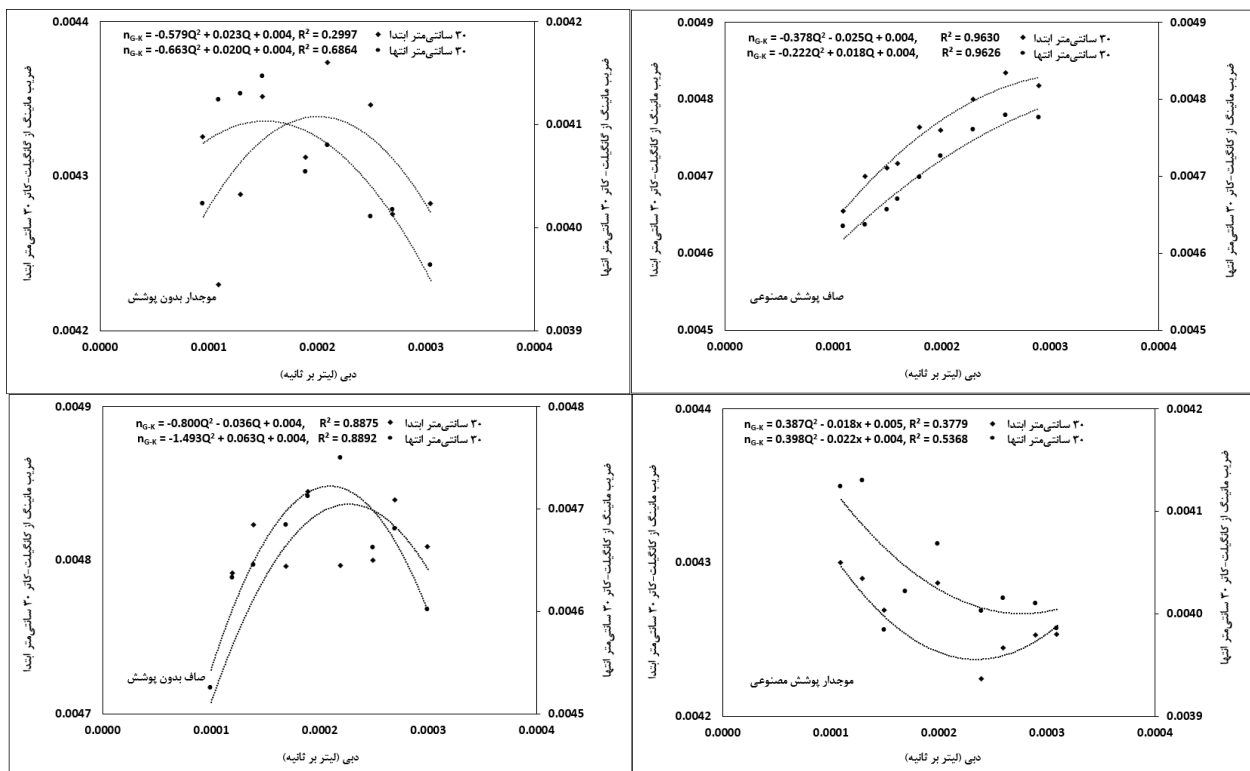
به منظور بررسی ضریب زبری جریان در لوله‌های زهکش کنگره‌دار و صاف براساس نتایج برداشت شده، عمل شد. در شکل ۳ تغییرات ضریب زبری مانینگ متناظر با دبی در حالات متفاوت از لوله‌های زهکش نشان داده شده است. در این شکل ارتباط بین ضریب مانینگ حاصل از رابطه ۱ با دبی به تفکیک ۳۰ سانتی‌متر ابتدای لوله زهکش و ۳۰ سانتی‌متر انتهای لوله زهکش در قالب معادله چند جمله‌ای درجه دو آمده است.

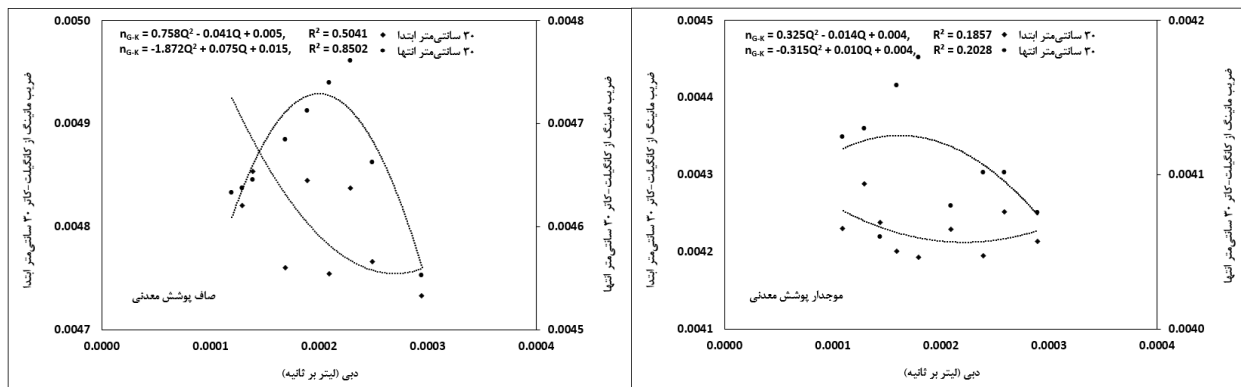


شکل ۲. رابطه ضریب زبری مانینگ با دبی

بررسی شکل ۲ نشان می‌دهد که ضریب زبری مانینگ با افزایش دبی کاهش می‌یابد و این کاهش علی‌الاصول در همان امتداد است که با توجه به ارتباط معکوس دبی و به تبع سرعت جریان با ضریب مانینگ (رابطه ۱) منطقی است. مقدار ضریب مانینگ علاوه بر کاهش نسبت به افزایش دبی، در ۳۰ سانتی‌متر دوم کمتر از ۳۰ سانتی‌متر ابتدای لوله زهکش است. کاهش مقدار ضریب زبری مانینگ به ازای افزایش دبی و در مجموع رابطه معکوس ضریب زبری با دبی از جمله نتایجی است که از سوی رضایی‌راد و همکاران (۱۴۰۰) و تغییرات ضریب زبری مانینگ با عمق جریان در مقاطع دایره‌ای (Subramanya, 1986) گزارش شده است. Irwin and Motycka (1979) نیز ضریب مانینگ در لوله‌های زهکشی پلاستیکی کنگره‌دار برای اقطار ۲۰۰ میلی‌متر تا ۳۰۰ میلی‌متر را بین ۰/۰۱۹ تا ۰/۰۲۲ گزارش کردند. از طرفی شکل ۲ نشان می‌دهد که علاوه بر کاهش ضریب زبری مانینگ نسبت به افزایش دبی، مقدار آن در ۳۰ سانتی‌متر ابتدایی لوله زهکش، نسبت به ۳۰ سانتی‌متر دوم لوله، بیشتر است. روند تغییرات ضریب زبری در لوله کنگره‌دار نسبت به لوله صاف منظم‌تر است. به گونه‌ای که در لوله کنگره‌دار یک منحنی بر تمام نقاط متناظر ضریب مانینگ - دبی در هر دو مقطع لوله قابل انطباق است (شکل ۲). از آنجایی که جریان در لوله‌های کنگره‌دار نیمه پر از نوع متغیر مکانی (SVF) است، این انطباق منحنی می‌تواند ناشی از تاثیر زبری نسبی لوله و زبری نسبی ناشی از ورود آب از منافذ به درون لوله باشد که به صورت زبری ظاهری به جریان تحمیل می‌شود (Hinds, 1926؛ Subramanya, 1986). به عبارتی دیگر جریان در داخل لوله‌ها از نوع متغیر مکانی متلاطم زبر یا بینابین است که نحوه ورود

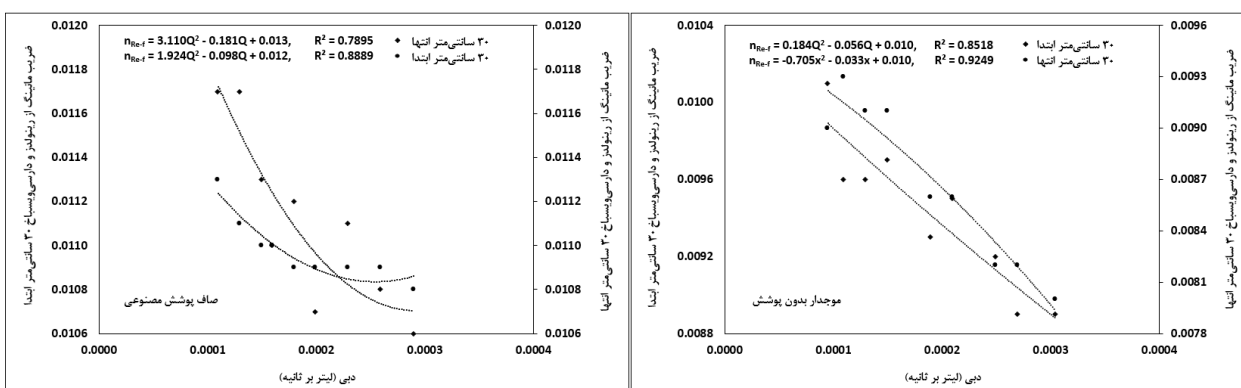
جت‌های کوچک از محل منافذ که به‌صورت عمود بر جریان اصلی آب در لوله رخ می‌دهد، علاوه بر نقش بازدارندگی در مقابل جریان عبوری، موجب برهم زدن توزیع یکنواخت سرعت در مقاطع عرضی می‌شود. به‌نظر می‌رسد موج بودن لوله نسبت به لوله صاف، بخشی از اثرات نامطلوب تداخل جریان ورودی از محل منافذ با جریان اصلی درون لوله را خنثی نموده و سبب منظم شدن تغییرات ضریب زبری در لوله‌های کنگره‌دار می‌شود. از دیگر نتایج شکل ۲، کم بودن دامنه تغییرات ضریب زبری مانینگ به‌دست آمده برای لوله کنگره‌دار بدون پوشش و لوله کنگره‌دار با پوشش مواد مصنوعی (توری) است و می‌توان مقدار متوسطی را برای آن پیشنهاد داد. لذا برای لوله کنگره‌دار با پوشش مواد مصنوعی (توری) و بدون پوشش، مقدار متوسط ضریب زبری مانینگ در این پژوهش $0.009/0$ است. در حالی که دامنه تغییرات ضریب زبری مانینگ در لوله کنگره‌دار با پوشش مواد معدنی شن و ماسه بیشتر است که می‌تواند به‌دلیل تلاطم بودن جریان باشد که از نظر هیدرولیکی زبر است. لذا انتظار می‌رود که ضریب زبری نیز در طول لوله یعنی در طول 30 سانتی‌متر ابتدایی با 30 سانتی‌متر انتهایی تفاوت داشته باشد (کوچک‌زاده و همکاران، ۱۳۸۲). نوشادی و همکاران (۱۳۹۴) عملکرد پوشش مواد معدنی شن و ماسه نسبت به پوشش مواد مصنوعی پلی‌پروپیلن 450 را در کاهش سریع‌تر سطح ایستابی و حرکت بهتر آب به‌سمت زهکشی، مناسب‌تر ارزیابی کردند. نتایج این تحقیق تفاوت آشکاری بین ضریب زبری مانینگ در لوله دارای پوشش مواد معدنی با ضریب زبری در لوله دارای پوشش مواد مصنوعی توری و ضریب زبری مانینگ در لوله فاقد پوشش را نشان می‌دهد که هم‌راستا با نتایج نوشادی و همکاران (۱۳۹۴) است. باید توجه داشت که انتخاب بیشتر از مقدار واقعی ضریب زبری نیز موجب برآورد سرعت کم جریان و به‌تبع رسوب‌گذاری و کاهش مقدار جریان عبوری خواهد شد. به‌همین ترتیب انتخاب کمتر از مقدار واقعی نیز منجر به برآورد زیاد سرعت جریان و در نتیجه برآورد بیشتر مقدار واقعی جریان خواهد شد (Clemmens et. al, 2001). از دیگر نتایج شکل ۲ تغییرات ضریب زبری مانینگ به ازای تغییرات دبی است که این تغییرات در لوله صاف با پوشش مواد معدنی، لوله کنگره‌دار با پوشش مصنوعی و لوله کنگره‌دار بدون پوشش نسبت به دیگر حالات مورد آزمایش کمتر است. این نتیجه نشان‌دهنده متغیر بودن مقدار زبری مانینگ در طراحی لوله‌های زهکش است. در حالی که در مبحث طراحی لوله‌های زهکشی، جریان درون لوله‌ها پر در نظر گرفته می‌شود و مقدار ضریب زبری ثابت لحاظ می‌گردد (کوچک‌زاده و همکاران، ۱۳۸۵). در شکل ۳ مشابه شکل ۲ رابطه بین ضریب مانینگ حاصل از رابطه کانگلیت-کاتر با دبی آمده است. به‌عبارتی در شکل ۳ تغییرات ضریب مانینگ کانگلیت-کاتر به‌ازای مقادیر متفاوتی از دبی عبوری از لوله زهکش در دو بخش 30 سانتی‌متر ابتدایی لوله زهکش و در 30 سانتی‌متر انتهایی لوله زهکش نشان داده شده است.

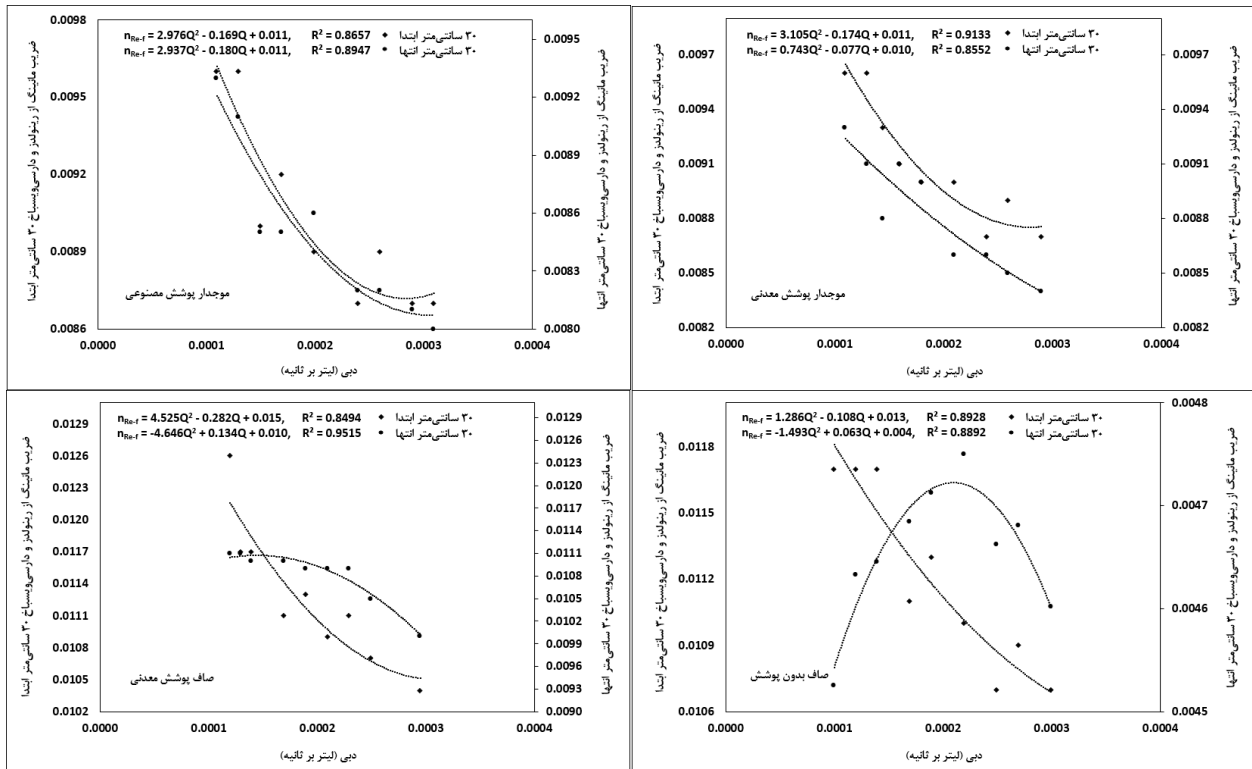




شکل ۳. رابطه بین ضریب مانینگ از کانگلیت-کاتر با دبی

نتایج شکل ۳ بیان‌گر افزایشی بودن ضریب مانینگ به‌واسطه افزایش دبی در برخی از آزمایشات مانند لوله زهکش صاف دارای پوشش مصنوعی و لوله زهکش کنگره‌دار بدون پوشش و لوله زهکش صاف بدون پوشش در دبی‌های کمتر از ۰/۰۰۰۲ لیتر بر ثانیه است. از دیگر نتایج شکل ۳ بیشتر بودن مقدار ضریب مانینگ در ۳۰ سانتی‌متر دوم لوله نسبت به ۳۰ سانتی‌متر ابتدایی لوله و همین‌طور بیشتر بودن ضریب تعیین بین ضریب مانینگ با دبی در ۳۰ سانتی‌متر دوم لوله زهکش است. روند تغییرات در شکل ۳ برخلاف نتایج شکل ۲ از نظم خاصی برخوردار نیست. در مجموع می‌توان اظهار داشت که ضریب زبری اصولاً تابع عوامل مختلفی از قبیل پارامترهای هندسی مجرا، خواص سیال و جریان است. در حالی که روابط برآورد کننده ضریب مانینگ توانایی فرموله کردن تمامی عوامل تاثیرگذار را ندارند. در تایید این موضوع کوچک‌زاده و باقری (۱۳۸۲) گزارش نمودند که ضریب زبری (اسمی) در لوله‌های با منافذ جانبی، عموماً برای جریان‌های یکنواخت کاملاً متلاطم زیر صادق است. همچنین از شکل ۲ نیز می‌توان دریافت که ضریب زبری با توجه به تغییرات دبی در طول لوله و به تبع تغییرات سرعت جریان، تفاوت در رفتار جریان با توجه به متفاوت بودن بستر جریان (لوله) و پوشش اطراف لوله زهکش ثابت نیست و لزوم تعیین ضریب زبری با لحاظ این تفاوت‌ها در طراحی‌ها می‌تواند نتایج مطلوب‌تری داشته باشد (Broughton, Ritzema, 1994). در همین راستا Yang et al. (2023) نیز بر تاثیر نوع پوشش زهکشی بر کارکرد مناسب لوله‌های زهکش تاکید داشته‌اند. به‌طوری که نتایج مطالعات آنان نشان داد که در لوله‌های زهکش موجدار، وجود یک محیط متخلخل پیوسته در پوشش مصنوعی اطراف لوله، به سختی حاصل می‌شود. در شکل ۴ نیز روند تغییرات ضریب مانینگ محاسبه شده از رابطه ترکیبی دارسی و سیباخ و شزی با دبی آمده است. در شکل ۴ تغییرات ضریب مانینگ ترکیبی به‌ازای دبی عبوری از لوله زهکش در دو بخش ۳۰ سانتی‌متر ابتدایی لوله زهکش و در ۳۰ سانتی‌متر انتهایی لوله زهکش در پوشش‌های متفاوتی از مواد معدنی، مواد مصنوعی و فاقد پوشش ترسیم شده است.





شکل ۴. رابطه بین ضریب مانینگ ترکیبی از دارسی ویسباخ و شزی با دبی

روند تغییرات ضریب مانینگ در شکل ۴ به‌ویژه در لوله‌های کنگره‌دار در مقایسه با نتایج شکل ۳ تا حدودی منظم‌تر است. به‌طوری‌که نحوه تغییرات ضریب مانینگ به‌ازی دبی در ۳۰ سانتی‌متر ابتدایی و انتهایی لوله زهکش تقریباً مشابه یکدیگر است. لیکن در لوله‌زهکش صاف وضعیت مشابه یکدیگر نیست (شکل ۴). ضمن آن‌که این وضعیت مشابه با نتایج شکل ۳ نیست. به‌نظر می‌رسد علت این امر در محاسبات چند مرحله‌ای برای رسیدن به ضریب مانینگ در قالب رابطه ۳ باشد که سبب هم‌افزایی خطای چند مرحله‌ای باشد. به‌نحوی‌که از رابطه رینولدز برای محاسبه ضریب دارسی ویسباخ ($f=64/Rn$) و سپس محاسبه ضریب شزی با اعمال ضریب f در رابطه ($C=8g/f$) و در نهایت محاسبه ضریب مانینگ از رابطه $C=1/nR^{1/6}$ بهره گرفته شده است. از طرفی نتایج هر سه شکل ۲، ۳ و ۴ تأیید کننده متغیر بودن ضریب مانینگ به‌ازای تغییرات دبی جریان و به‌تبع تغییرات ارتفاع آب درون لوله زهکش (شکل ۱) هستند. متغیر بودن ضریب زبری با تغییرات عمق در مقاطع جریان دایره‌ای شکل از سوی Zaghoul (1998) گزارش شده است. Tullis, et al, (2006) وابستگی ضریب زبری به جنس لوله، شرایط هیدرولیکی بستر جریان و تغییرات آن در اثر فشار بارهای خارجی وارده به لوله‌ها، گذر زمان و کیفیت زه‌آب‌ها را گزارش نموده‌اند. لذا ثابت نبودن ضریب زبری با توجه به متغیر بودن دبی جریان، شرایط هیدرولیکی جریان، جنس لوله‌ها، رسوب‌گذاری درون لوله‌ها، قطر لوله‌ها و شیب‌دار بودن لوله‌ها، منطقی به‌نظر می‌رسد. Gupta (2019) نیز مقادیر متفاوتی از ضریب مانینگ برای لوله‌های بتنی، آریست، تنبوشه‌های سفالی و لوله‌های کنگره‌دار پلاستیکی تحت شرایط جریان کامل در اقطار مختلف را گزارش نمود. بنابراین نتایج این مطالعه در قالب شکل‌های ۲، ۳ و ۴ نشان می‌دهد، ضریب زبری اسمی که در مطالعات میدانی برای لوله‌های زهکش برحسب توصیه‌های سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۳۹۴) مقدار ثابتی در نظر گرفته می‌شود را می‌توان متفاوتی از شرایط واقعی دانست. به‌طوری‌که عدم لحاظ این تفاوت‌ها در طراحی‌ها می‌تواند نتایج نامطلوبی در عملکرد بهینه سیستم‌های زهکشی داشته باشد (کوچک‌زاده و باقری، ۱۳۸۲). از طرفی نامنظم بودن تغییرات ضریب زبری در لوله‌های صاف نسبت به لوله‌های کنگره‌دار در هر سه شکل ۲، ۳ و ۴ هم می‌تواند ناشی از تلاطم کامل جریان زبر در لوله‌های صاف، به‌ویژه در لوله صاف بدون پوشش نسبت به لوله‌های کنگره‌دار با جریان متلاطم زبر یا بینابین باشد.

در جدول ۱ ضریب زبری مانینگ در جریان‌های هیدرولیکی صاف و کنگره‌دار در لوله‌های فاقد پوشش و دارای پوشش محاسبه شده از روابط ۱، ۲ و ۳ آمده است. برای بررسی دقت برآوردها نسبت به مقدار ضریب مانینگ حاصل از رابطه ۱، از آماره میانگین ریشه دوم خطا یعنی RMSE و ضریب تعیین یعنی R^2 استفاده شد.

جدول ۱. آماره میانگین ریشه دوم خطا (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) مقادیر برآوردی از رابطه کانگلیت-کاتر و ترکیبی رینولدز - دارسی در مقایسه مقادیر محاسباتی اصلی مانینگ

| برآورد ضریب مانینگ از رابطه | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------------------|--------|------------------------------|--------|--|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| لوله زهکشی پوشش | ۱ در ۳۰ سانتی‌متر | | کانگلیت-کاتر در ۳۰ سانتی‌متر | | رینولدز و دارسی ویسیاخ در ۳۰ سانتی‌متر | | اول | | دوم | | دوم | |
| | اول | دوم | R^2 | RMSE | R^2 | RMSE | R^2 | RMSE | R^2 | RMSE | R^2 | RMSE |
| مصنوعی | ۰/۰۱۱۱ | ۰/۰۱۰۱ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۴۸ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۴۸ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۴۸ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۴۸ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۴۸ |
| صاف معدنی | ۰/۰۱۱۳ | ۰/۰۱۰۸ | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۰۴۸ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۴۸ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۴۸ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۴۸ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۴۸ |
| فاقد | ۰/۰۱۱۲ | ۰/۰۱۰۸ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۴۸ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۴۸ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۴۸ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۴۸ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۴۸ |
| مصنوعی | ۰/۰۰۹۰ | ۰/۰۰۸۵ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۴۲ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۴۲ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۴۲ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۴۲ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۴۲ |
| کنگره‌دار معدنی | ۰/۰۰۹۱ | ۰/۰۰۸۸ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۴۲ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۴۲ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۴۲ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۴۲ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۴۲ |
| فاقد | ۰/۰۰۹۴ | ۰/۰۰۸۷ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۴۳ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۴۳ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۴۳ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۴۳ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۴۳ |

از جدول ۱ ملاحظه می‌گردد مقدار ضریب زبری در هر دو بخش ۳۰ سانتی‌متر اول و ۳۰ سانتی‌متر دوم لوله زهکش صاف بیشتر از مقادیر متناظر آن در لوله کنگره‌دار است. بایستی توجه داشت که قطر داخلی لوله زهکش صاف مورد آزمایش ۵۷ میلی‌متر و قطر داخلی لوله کنگره‌دار ۵۰ میلی‌متر بود. وابستگی ضریب زبری به اندازه قطر لوله در گزارش موسسه لوله‌های پلاستیکی آمریکا آمده است (Ritzema, 1994). بیشتر بودن قطر لوله صاف نسبت به لوله کنگره‌دار می‌تواند موجب سرعت جریان کمتر در لوله صاف باشد. چرا که دبی اعمالی به مدل فیزیکی در هر دو حالت لوله صاف و لوله کنگره‌دار برابر بوده که با توجه به بزرگتر بودن قطر لوله صاف، می‌توان انتظار کمتر بودن سرعت جریان درون لوله صاف و فرصت لازم برای رسوب‌گذاری را داشت. ناهمواری لوله فاکتور بسیار مهمی در کاهش فشار و کم کردن سرعت جریان دارد. در این تحقیق لوله صاف به دلیل وجود رسوبات داخلی در انتهای آزمایشات قابل مشاهده بود، از ضریب زبری بالاتر و اصطکاک زیادتری نسبت به لوله کنگره‌دار برخوردار بود و این سبب مقاومت بیشتری در برابر جریان آب زهکشی بود. در این راستا نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که مقدار n مانینگ در ۳۰ سانتی‌متر اول و دوم لوله صاف فاقد پوشش (۰/۰۱۱۲ و ۰/۰۱۰۸) نسبت به مقادیر متناظر آن در لوله کنگره‌دار (۰/۰۰۹۴ و ۰/۰۰۸۷) به میزان ۱۹/۱۵ درصد و ۲۴/۱۴ درصد بیشتر است. لذا می‌توان به وجود رسوب و نقش آن در زبری و مقاومت اصطکاکی بیشتر لوله صاف نسبت به سیال مورد زهکشی در مقایسه لوله کنگره‌دار اذعان داشت. بیشتر بودن ضریب زبری لوله صاف در هر سه رابطه مانینگ، کانگلیت-کاتر و رینولدز-دارسی برقرار است. مشاهدات درون لوله‌ها در مرحله اتمام آزمایشات نیز موید وجود رسوبات بیشتر در لوله صاف بود. از طرفی جدول ۱ نشان می‌دهد که مقادیر ضریب مانینگ محاسبه شده برای لوله صاف در هر دو پوشش بین ۰/۰۱۰۱ تا ۰/۰۱۱۳ و برای لوله کنگره‌دار پوشش‌دار بین ۰/۰۰۸۵ تا ۰/۰۰۹۱ است که با دامنه ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۰۹ از مقادیر n گزارش شده توسط Abdullah, et al, (2023) برای یک لوله زهکش کنگره‌دار طراحی شده در یک مدل فیزیکی برای رواناب‌های شهری نفوذ یافته به خاک هم‌خوانی دارد. به علاوه جدول ۱ نشان می‌دهد که مقادیر ضریب زبری مانینگ محاسبه شده در ۳۰ سانتی‌متر ابتدای لوله، به میزان کمی بزرگتر از مقادیر آن برای ۳۰ سانتی‌متر دوم لوله است. مطابق نتایج جدول ۱ مقدار ضریب زبری مانینگ در لوله صاف با پوشش مصنوعی، پوشش معدنی و در حالت بدون پوشش در ۳۰ سانتی‌متر اول به میزان ۹/۹، ۴/۶، ۳/۷ درصد و در لوله کنگره‌دار نیز ۵/۹، ۳/۴، ۸/۱ درصد بیش از ۳۰ سانتی‌متر دوم لوله است. هم‌چنین مقدار ضریب زبری محاسبه شده برای ۳۰ سانتی‌متر اول لوله صاف دارای پوشش و فاقد پوشش از رابطه کانگلیت-کاتر به میزان ۲/۱ درصد و برای لوله کنگره‌دار با پوشش مصنوعی به میزان ۵ درصد، با پوشش معدنی ۲/۴ درصد و در حالت بدون پوشش هم ۲/۴ بیشتر از ضریب زبری ۳۰ سانتی‌متر دوم لوله محاسبه شد. مشابه چنین تغییراتی نیز برای ضریب زبری محاسبه شده برای هر دو لوله صاف و کنگره‌دار از رابطه ترکیبی رینولدز و دارسی ویسیاخ برای ۳۰ سانتی‌متر اول لوله نسبت به ۳۰ سانتی‌متر دوم لوله برقرار است (جدول ۱). در مجموع تفاوت در مقادیر ضریب زبری محاسباتی در تمامی حالات می‌تواند ناشی از تفاوت در مقدار جریان در ۳۰ سانتی‌متر اول با ۳۰ سانتی‌متر دوم به واسطه اضافه شدن جریان جانبی به جریان درون لوله، تفاوت در سرعت جریان در لوله‌های صاف با لوله‌های کنگره‌دار، تفاوت در شرایط هیدرولیکی جریان درون لوله‌ها و تفاوت در پایه و اساس روابط با یکدیگر باشد (کوچک‌زاه و همکاران، ۱۳۸۵؛ ملائکه، ۱۳۹۶). از طرفی نحوه ورود جریان به لوله و تاثیرپذیری آن از تفاوت عملکرد پوشش‌های اطراف لوله و صاف و کنگره‌دار بودن لوله‌ها (کوچک‌زاده و باقری، ۱۳۸۲) و تغییرات عمق جریان در مقاطع دایره‌ای نیز می‌تواند بر مقادیر ضریب زبری و متفاوت بودن آن تاثیر داشته باشد (Zaghlou, 1998). به همین ترتیب جنس لوله‌های زهکش، شرایط هیدرولیکی لوله‌های زهکش، فشار بارهای خارجی وارده به لوله‌های زهکش، شیب لوله‌های زهکش، فرسایش و

رسوب گذاری خاک از محیط اطراف لوله های زهکش به درون لوله ها و کیفیت زه آب های خروجی از لوله های زهکش از جمله موارد تاثیر گذار بر ضریب زبری لوله های زهکشی می باشند (Tullis et al, 2006): (Abdullah et al, 2023). وجود چنین تفاوت هایی می تواند به افزایش مقاومت ظاهری و بر هم خوردن یکنواختی توزیع سرعت در مقطع عرضی بیانجامد. بررسی های کوچک زاده و همکاران (۱۳۸۵) نشان داد تغییرات ضریب زبری مانینگ نسبت به فاصله از ابتدای بالادست زیاد نیست که در راستای نتایج این تحقیق است. به همین دلیل آنان میانگین ضریب زبری ۰/۰۲ را برای لوله زهکشی کنگره دار به طول ۱۷/۶۷ متر به قطر ۱۱۵ و ۱۸۲ میلی متر و میانگین ۰/۰۲۴ را برای همان دو قطر از لوله کنگره دار به طول ۵/۷۱۵ متر گزارش نمودند (کوچک زاده و باقری، ۱۳۸۲؛ کوچک زاده و همکاران، ۱۳۸۵). بدین ترتیب مطابق شکل ۳ و جدول ۱، مقدار متوسط ضریب زبری مانینگ در تحقیق حاضر برای لوله صاف با قطر ۶۳ میلی متر و لوله کنگره دار ۵۶ میلی متر به ترتیب ۰/۰۱۰ و ۰/۰۱۲ قابل پیشنهاد است که با مقادیر گزارش شده دیگر محققان هم خوانی دارد. در همین راستا Gupta (2019) نیز از منابع مختلف تحقیقاتی مقادیر ضریب مانینگ برای لوله های کنگره دار پلاستیکی تحت شرایط جریان کامل با قطر ۴۰ و ۵۰ میلی متر را ۰/۰۱۴ و برای لوله های پلی اتیلن با قطر ۵۰ و ۷۵ میلی متر را ۰/۰۱۶ گزارش داده است. (Irwin and Motycka (1979) با انجام آزمایشاتی مقادیر ضریب زبری داری-وایسباخ و مانینگ در لوله های زهکشی پلاستیکی کنگره دار برای اقطار ۲۰۰ میلی متر را به ترتیب ۰/۰۸۲ و ۰/۰۱۹ و ۲۵۰ میلی متر ۰/۰۶۸ و ۰/۰۱۸ و ۳۰۰ میلی متر ۰/۰۹۵ و ۰/۰۲۲ به دست آوردند. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (۱۳۹۴) نیز مقدار ضریب زبری مانینگ برای اقطار معمول لوله های صاف و کنگره دار را به ترتیب ۰/۰۱۲ و ۰/۰۲۴، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری (۱۳۹۱) مقدار ضریب مانینگ برای لوله های کنگره دار (خرطومی) با قطر کمتر از ۱۰۰ میلی متر را ۰/۰۱۶ و کوچک زاده و همکاران (۱۳۸۵) برای دو قطر ۱۱۵ و ۱۸۲ میلی متر لوله کنگره دار شیاردار ۰/۰۲ گزارش نموده اند. (Subramanya (1986) تغییرات حداکثر و حداقل ضریب زبری مانینگ به ازای تغییرات عمق جریان (y) برای مقاطع دایره ای با قطر d را به ترتیب در بازه $y=0/2d$ و $y=d$ گزارش نموده است. (Zaghloul (۱۹۹۸) نیز تغییرات ضریب زبری به ازای تغییرات عمق جریان در مقاطع دایره ای و افزایش ضریب زبری در لوله های نیمه پر را نسبت به لوله های پر گزارش نمود. (Abdullah et al, (2023) در دانشگاه علوم مالزی، با تاکید بر اهمیت رابطه مانینگ، مقدار n مانینگ را در یک لوله زهکش با شش ردیف سوراخ در دو شیب ۱:۷۵۰ و ۱:۱۰۰۰ را بین ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۰۹ به دست آوردند. (Tullis et al, (2006) تفاوت در ضرایب زبری گزارش شده از منابع مختلف را ناشی از تفاوت در جنس لوله (فلزی، پلاستیکی، سیمانی، سفالی)، شرایط هیدرولیکی بستر جریان نظیر لوله های صاف، کنگره دار و دیگر بسترهای مشابه، تغییرات لوله ها در اثر فشار بارهای خارجی وارده به لوله ها، گذر زمان و کیفیت زه آب ها بیان داشته اند. در مجموع مقادیر کم آماره RMSE محاسباتی در جدول ۱، نشان دهنده دقت مناسب محاسبات است. مقدار RMSE مطابق جدول ۱ برای لوله صاف پوشش دار حاصل از رابطه کانگلیت-کاتر در مقایسه با رابطه مانینگ بین ۰/۰۰۶ تا ۰/۰۰۷ و برای لوله کنگره دار دارای پوشش ۰/۰۰۵ است. آماره فوق برای لوله صاف پوشش دار از رابطه ترکیبی رینولدز با داری و ویسباخ در مقایسه با رابطه مانینگ نیز بین ۰/۰۰۶ تا ۰/۰۰۷ و برای لوله کنگره دار بین ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۰۵ محاسبه شد. لیکن بالاتر بودن مقدار ضریب تعیین (R^2) در نتایج حاصل از رابطه کانگلیت-کاتر نسبت به رابطه ترکیبی رینولدز و داری و ویسباخ، بیان گر تغییرات کمتر ضریب زبری حول میانگین ضریب زبری محاسباتی از رابطه مانینگ است. که با توجه به خطای کمتر رابطه کانگلیت-کاتر و موید دقت کار و تفاوت محاسبه گردید. در مجموع مقادیر ضریب زبری محاسبه شده با شرایط هیدرولیکی واقعی در این تحقیق (جدول ۱) با مقادیر میانگین پیشنهادی در منابع مختلف با فرض جریان پر لوله ها و نبود فشار پیرومتریک اضافی در حالت جریان یکنواخت و غیر یکنواخت هم خوانی دارد (کوچک زاده و همکاران، ۱۳۸۵).

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد روند کلی تغییرات ضریب زبری نسبت به افزایش دبی، کاهش است که در شکل های ۱ تا ۳ نشان داده شده است. در تمامی این شکل ها رابطه بین ضریب زبری با دبی در قالب معادلات چند جمله ای درجه ۲ بیان شده است که در اکثر معادلات ضریب تعیین بیش از ۰/۵۰ است (شکل های ۱، ۲ و ۳). چنین نتیجه گیری می شود که افزایش ضریب زبری، می تواند سرعت جریان را در لوله کاهش دهد و بالعکس کاهش ضریب زبری سبب افزایش سرعت جریان در لوله می شود. کاهش سرعت جریان موجب کاهش جریان زهکشی و ماندگاری شرایط ماندابی می شود. از دیگر نتایج این مطالعه می توان گفت که نوع لوله (صاف و کنگره دار) و شرایط هیدرولیکی بستر جریان ناشی از نوع لوله بر ضریب زبری تاثیر دارد. در این خصوص می توان به تفاوت در معادلات برازش یافته بر ضریب زبری-دبی در ۳۰ سانتی متر اول و ۳۰ سانتی متر دوم و تفاوت بین نتایج در حالات مختلف لوله صاف و کنگره دار و لوله دارای پوشش و فاقد پوشش

در شکل‌های ۱ تا ۳ اشاره داشت. از طرفی نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد نوع لوله بیشترین تاثیر را بر ضریب زبری دارد. به طوری که تغییرات ضریب زبری در لوله صاف نسبت به لوله کنگره‌دار بیشتر است. این امر با توجه به برابر بودن دبی اعمالی به مدل فیزیکی می‌تواند به دلیل تفاوت در قطر لوله یعنی بزرگتر بودن قطر لوله صاف نسبت به لوله کنگره‌دار باشد. مطابق نتایج جدول ۱ مقدار ضریب زبری مانینگ در ۳۰ سانتی‌متر اول لوله صاف دارای پوشش مصنوعی، پوشش معدنی و حالت بدون پوشش به ترتیب ۰/۰۱۱۱، ۰/۰۱۱۳، ۰/۰۱۱۲ و برای لوله کنگره‌دار ۰/۰۰۹۰، ۰/۰۰۹۱، ۰/۰۰۹۴ است. همین گونه تغییرات برای ضریب زبری در ۳۰ سانتی‌متر ابتدای لوله از رابطه کانگلیت-کاتر و رابطه رینولدز-داریسی و سیسباخ نیز برقرار است. به طوری که ضریب زبری کانگلیت-کاتر برای لوله صاف در هر سه حالت پوشش مصنوعی، معدنی و بدون پوشش ۰/۰۰۴۸ و برای لوله کنگره‌دار به ترتیب ۰/۰۰۴۲، ۰/۰۰۴۲ و ۰/۰۰۴۳ به دست آمد. ضریب زبری لوله صاف با پوشش مصنوعی، معدنی و بدون پوشش از رابطه رینولدز-داریسی و سیسباخ ۰/۰۰۵۰، ۰/۰۰۵۰، ۰/۰۰۴۹ و برای لوله کنگره‌دار نیز ۰/۰۰۴۸، ۰/۰۰۴۸، ۰/۰۰۴۹ محاسبه شد. مقادیر ضریب زبری آمده در جدول ۱ در ۳۰ سانتی‌متر دوم لوله نیز شرایطی مشابه ۳۰ سانتی‌متر ابتدایی لوله را دارند. در مجموع میانگین ضریب زبری مانینگ برای ۳۰ سانتی‌متر اول و دوم لوله صاف با پوشش مصنوعی، پوشش معدنی، بدون پوشش ۰/۰۱۰۶، ۰/۰۱۱۱، ۰/۰۱۱۱ و برای کنگره‌دار ۰/۰۰۸۸، ۰/۰۰۰۹، ۰/۰۰۹۱ به دست آمد. هم‌چنین میانگین ضریب زبری مانینگ از رابطه کانگلیت-کاتر برای هر دو طول لوله صاف با پوشش مصنوعی، پوشش معدنی، بدون پوشش ۰/۰۰۴۸، ۰/۰۰۴۸، ۰/۰۰۴۸ و برای کنگره‌دار ۰/۰۰۴۱، ۰/۰۰۴۲، ۰/۰۰۴۲ به دست آمد. میانگین ضریب زبری مانینگ از رابطه ترکیبی رینولدز-داریسی و سیسباخ برای طول او و دوم لوله صاف با پوشش مصنوعی، پوشش معدنی، بدون پوشش ۰/۰۰۰۵، ۰/۰۰۰۵، ۰/۰۰۰۵ و برای کنگره‌دار ۰/۰۰۴۸، ۰/۰۰۴۸، ۰/۰۰۴۹ به دست آمد. با توجه به کم بودن اختلاف زبری بین دو لوله صاف و کنگره‌دار در این آزمایش، می‌توان گفت که تفاوتی در استفاده از این دو لوله وجود ندارد. عدم تفاوت مشخص در عملکرد دو لوله را می‌توان در کوچک بودن قطر لوله‌ها، زبری‌های کم، کوتاه بودن ارتفاع امواج در لوله کنگره‌دار، نزدیکی فاصله امواج به یکدیگر و شکل امواج لوله کنگره‌دار دانست. بررسی اعداد زبری مانینگ نشان داد که جریان در طول لوله زهکشی از نظر هیدرولیکی زبر است و این زبری در لوله‌های صاف بیشتر است. بررسی وضعیت میانگین ضریب زبری در حالات مختلف لوله‌های صاف و کنگره‌دار نشان داد که علی‌رغم نزدیک بودن مقادیر زبری، لوله‌های صاف دارای زبری بیشتری نسبت به لوله‌های کنگره‌دار بودند. در مجموع لوله‌های کنگره‌دار به واسطه سهولت اجرا، انعطاف بیشتر نسبت به پستی و بلندی‌های زمین و عملکرد هیدرولیکی مناسب‌تر، ارجح هستند. توصیه مهندسی زهکشی به لحاظ استفاده از پوشش به همراه عملیات لوله‌گذاری در پروژه‌های زهکشی است. عدم استفاده از پوشش زهکشی، در ابتدای بهره‌برداری از سامانه‌های زهکشی سبب گرفتگی منافذ زهکش، انسداد لوله‌ها در اثر ورود خاک، کاهش کارایی سامانه زهکشی و در نهایت شکست عملیات زهکشی می‌شود. کما اینکه مطالعات انجام شده در هلند و دیگر مناطق جهان نیز موید شکست پروژه‌های زهکشی در نتیجه عدم طراحی مناسب پوشش‌های زهکشی می‌باشد. مقایسه عملکرد هر کدام از پوشش‌های در خصوص مقدار زبری نشان داد که هر دو پوشش عملکرد هیدرولیکی قابل قبولی دارند و نیاز زهکشی را تأمین می‌کنند. در لوله‌های بدون پوشش نیز وجود رسوب خاک در لوله و انسداد منافذ زهکشی از مشکلات قابل مشاهده در پایان آزمایش‌ها بود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- ابراهیمیان؛ حامد، لیاقت؛ عبدالمجید، پارسى نژاد؛ مسعود و اکرم؛ مجتبی. (۱۳۸۹). بررسی جریان نزدیک‌شونده در اطراف لوله زهکش با پوشش پوسته برنج (مطالعه موردی: پروژه ران بهشهر). *پژوهش آب/ایران*؛ ۴ (۱): ۲۵-۳۴.
- پذیرا؛ ابراهیم، لیاقت؛ عبدالمجید، م.، دربندی؛ صمد، لیاقت؛ زهره، اکرم؛ مجتبی و آذری؛ اردوان. (۱۳۸۷). مواد و مصالح سامانه‌های زهکشی زیرزمینی. *انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران*. ۳۴۰ ص.
- جعفری تلوکلایی؛ مهدی، شاهنظری؛ علیرضا و ضیاءتبار احمدی؛ میرخالق (۱۳۹۲). بررسی اثر دو نوع پوشش زهکشی بر دبی زهکش‌های زیرزمینی در مزارع شالیزارى استان مازندران. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. ۲۷ (۱): ۱۲۳-۱۳۰.
- حسن‌اقلی؛ علیرضا. و پدرام؛ شهره. (۱۳۹۱). بررسی پتانسیل انسداد معدنی سه نوع پوشش زهکشی مصنوعی توسط آزمون نفوذسنجی در شرایط کاربرد آب و خاک شور. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. ۲۶ (۶): ۱۴۰۹-۱۳۹۵.
- حسین‌زاده؛ محمد، نوایان؛ مریم و پیرمردیان، نادر. (۱۳۹۴). ارزیابی عملکرد پوشش‌های مرکب آلی و معدنی دور زهکش در شرایط مشابه اراضی شالیزارى. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۶ (۳): ۴۹۹-۵۰۸.



- رضایی‌راد؛ هادی، ابراهیمیان؛ حامد، لیاقت؛ عبدالمجید، خلجی؛ فاطمه و شبانی‌آرانی؛ مهشید. (۱۴۰۰). تأثیر دبی و رطوبت اولیه بر ضریب زبری مانینگ در فازهای پیشروی و ذخیره در آبیاری جویچه‌ای. مدیریت آب و آبیاری. ۱۱ (۲): ۱۵۹-۱۷۲.
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. (۱۳۹۴). راهنمای طرح و اجرای لایه‌های روسازی با زهکش مناسب. نشریه شماره ۳۶۶. ۱۰۷ ص.
- کریمی؛ بختیار. (۱۳۹۵). شبیه‌سازی عملکرد هیدرولیکی پوشش مصنوعی PP450 و پوشش معدنی با استفاده از نفوذسنج در شرایط آزمایشگاهی. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۳ (۱): ۲۴۷-۲۶۰.
- کوچک‌زاده؛ صلاح، باقری، فرزانه و اکرم؛ مجتبی. (۱۳۸۵). مطالعه هیدرولیکی جریان در لوله‌های موجدار زهکشی و ارائه روابط ظرفیت انتقال کاربردی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۷ (۲۷): ۱-۱۸.
- کوچک‌زاده؛ صلاح و باقری؛ فرزانه. (۱۳۸۲). تعیین ضریب زبری لوله‌های موجدار زهکشی برای شرایط واقعی جریان. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۴ (۳): ۶۸۱-۶۹۲.
- مداح‌زاده؛ سید محمدعلی، اسماعیلی؛ کاظم و قهرمان؛ بیژن. (۱۳۹۶). بررسی تغییرات سطح ایستابی و تخلیه زهکش‌ها با سیستم زهکشی پلکانی در خاک مطبق. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۲۱ (۱): ۶۹-۸۱.
- معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری. (۱۳۹۱). ضوابط و معیارهای طراحی و نقشه‌های همسان سازه‌های زهکشی زیرزمینی نشریه شماره ۵۷۶. ۶۸ ص.
- ملائکه؛ پدرام. (۱۳۹۶). لوله‌های پلی‌اتیلنی با دیواره‌های موجدار. مجله پژوهش و توسعه فناوری پلیمر ایران. ۲ (۲): ۷۷-۸۶.
- مهدی‌نژادیانی؛ بهروز، کشکولی؛ حیدر علی و ناصری؛ عبدعلی. (۱۳۸۷). ارزیابی آزمایشگاهی کاربرد یک نوع پوشش مصنوعی در زهکش‌های زیرزمینی و مقایسه آن با پوشش معدنی. مجله پژوهش‌های خاک. ۲۲ (۱): ۱۱۳-۱۲۵.
- نوذری؛ حامد، پورصدری؛ آذین و زالی؛ عباس. (۱۳۹۶). بررسی آزمایشگاهی تأثیر آرایش منافذ لوله‌های زهکش بر میزان نمک زه‌آب خروجی. دانش آب و خاک. ۲۷ (۳): ۱۸۷-۱۹۸.
- نوشادی؛ مسعود، جمال‌الدینی؛ مهسا و سپاس‌خواه؛ علیرضا. (۱۳۹۴). بررسی عملکرد پوشش‌های گراولی و مصنوعی در زهکش‌های زیرزمینی. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۱۹ (۷۱): ۱۵۱-۱۶۲.
- یوری؛ محمد رضا، شریفان؛ حسین و هزارجریبی؛ ابوطالب. ۱۳۹۶. ارزیابی آزمایشگاهی عملکرد سه نوع پوشش مختلف مورد استفاده در زهکش‌های زیرزمینی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱ (۱۱): ۶۸-۵۸.

REFERENCES

- AbdelDaiem, S., Hoevenaars, J., Mollinga, P., Scheumann, W., Sloopweg, R., and Van Steenberg, F. (2005). Agriculture drainage towards an integrated approach, *Journal of Irrigation and Drainage System*. 19 (2): 71-87.
- Abdullah, J.; Mohd Arif Zainol, M.R.R.; Riahi, A.; Zakaria, N.A.; Yusof, M.F.; Shaharuddin, S.; Alias, M.N.; Mohd Kasim, M.Z.; Abdul Aziz, M.S.; Mohamed Noor, N.; Hafiz Zawawi, M. and Ikhsan, J. (2023). Investigating the Relationship between the Manning Coefficients (n) of a Perforated Subsurface Stormwater Drainage Pipe and the Hydraulic Parameters. *Sustainability*. 15 (6929): 1-14.
- 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*. 3: 142-1551. Cairo, Egypt.
- Clemmens, A. J., Eisenhauer, D. E., and Maheshwari, B. L. (2001). Infiltration and roughness equations for surface irrigation: How Form Influences Estimation. *ASAE Meeting Paper. American Society of Agricultural and Biological Engineers*.
- Ebrahimian, H., liaghat, A., Parsinejad, M., Akram M. (2010). Investigation of approach flow around drain pipe with rice husk envelope (case study: Ran-Behshahr project). *Iranian Water Research Journal*. 4 (1): 25-34. (In Persian).
- FAO, (2005). Materials for subsurface land drainage systems, *FAO Irrigation and Drainage Paper 60*. Rome.
- Ganguillet, E. and Kutter, W.R., (1869). An investigation to establish a new general formula for uniform flow of water in canals and river.
- Gupta, S.K. (2019). Drainage Engineering: Principles and Practices, *Scientific publishers*. P.p: 363.
- Guzmán, K., La Motta, E.J., McCorquodale, J.A., Roiss, S. and Ermogenous, M. (2007). Effect of Biofilm Formation on Roughness Coefficient and Solids Deposition in Small-Diameter PVC Sewer Pipes. *Journal of Environmental Engineering*. 133 (4): Pp 364-371.
- Hassanoghli, Alireza and Pedram. Shohre. (2013). Assessment of Clogging Potential of Three Different Synthetic Drainage Envelopes in Application of Saline Water and Soil by Permeability Test. *Journal of Water and Soil*. 26 (6): 1395-1409. (In Persian).

- Hinds, J. (1926). Side channel Spillway. *Trans ASCE*, 89: 881-927.
- Hosainzadeh, M., Navvabian, M. and Pirmoradian, N. (2015). Performance Evaluation of Organic and Mineral Development of Drainage Pipes, In Circumstances Similar to Those of Paddy Fields. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 46 (3): 499-508. (In Persian).
- International Plumbing Code (IPC), (2021). Fifth Version, 15 Chapter (Chapter 7: Sanitary Drainage). 1304 Pp.
- Irwin, R.W., and Motycka, J., (1979). Friction factors for corrugated plastic drainage tube, *Journal of Irrigation and Drainage. division, ASCE*, 105 (1): 29-36.
- Jafari Talukolaee, M., Shahnazari, A., and Ziatabar-Ahmadi, M.Kh. (2013). An investigation of the effect of two drainage envelope types on subsurface drainage flow rates in paddy fields of Mazandaran province. *Journal Water Soil*. 27 (1): 123-130. (In Persian).
- Karimi, B. (2016). Simulation of hydraulic performance in synthetic envelope pp450 and mineral envelope using Permeameter in laboratory condition. *Journal of Water and Soil Conservation*. 23 (1): 247-260. (In Persian).
- Kouchakzadeh, S. Akram, M. and Bagheri, F. 2006. Hydraulic performance of corrugated pipes based on their hydraulic performance. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 7 (27): 1-18. (In Persian).
- Kouchakzadeh, S. and Bagheri, F. 2003. Determination of roughness coefficient for corrugated drainage pipes based on real flow conditions. *Journal of Agriculture Science*. (University of Tehran). 34 (3): 681-692. (In Persian).
- Maddahzadeh, S. M. A., Esmaili, K. and Ghahraman, B. (2017). Evaluation of Water Table Fluctuations and Drainage Discharge of Bi-Level Drainage System in a Layered Soil. *JWSS - Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*. 21 (1): 69-81. (In Persian).
- Malaekheh. P. (2017). Polyethylene pipes with corrugated walls. *Iran Polymer Technology, Research and Development*. 2 (2): 77-86. (In Persian).
- Management and Planning Organization. (2015). Guideline of design and implementation of drainage in asphalt pavement. no. 366. Pp. 107. (In Persian).
- Mangin, S. F. (2010). Development of an equation independent of Manning's coefficient n for depth prediction in partially-filled circular culverts. Younstown State University. *Master of Science in the Civil and Environmental Engineering Program*. 159 Pp.
- Mehdinejadi, B., Kashkuli, H.A. and Naseri, A.A. (2008). Evaluation of Synthetic Envelope for Subsurface Drains and Its Comparison with Granular Envelope Under Laboratory Conditions. *Iranian Journal of Soil Research (IJSR)*. 22 (1): 113-125. (In Persian).
- Noshadi, M., Jamaldini, M. and Sepaskhah, A. (2015). Investigating the Performance of Gravel and Synthetic Envelopes in Subsurface Drainage. *Journal of Water and Soil Science*. 19 (71): 151-162. (In Persian).
- Nozari, H , Pour Sadri, A. and Zali, A. (2017). Experimental study of drainage pipes openings arrangement effect on drainage water salt load. *Journal of Water and Soil Science*. 27 (3): 187-198. (In Persian).
- Pazira, E., Liaghat, A..M., Darbandi, S., Liaghat, Z., Akram, M. and Azari, A. (2009) Material for subsurface land drainage systems. *Publishers: Iranian National Committee on Irrigation and Drainage*. Pp, 340 (In Persian).
- Rezaei Rad, H., Ebrahimian, H., Liaghat, A., Khalaji., F. and Shabani, M. (2021). Effect of inflow rate and initial soil moisture on Manning roughness coefficient in advance and storage phases in furrow irrigation. *Journal of Water and Irrigation Management*. 11 (2): 159-172. (In Persian).
- Ritzema, H.P. (1994). Drainage principles and application International Institute for land reclamation and improvement. Pub. No.16.
- Subramanya, K. (1986). Flow in open channel, first revised edition, Tata McGraw-Hill, New Delhi.
- Tullis, B.P., Barfuss, S.L and Christensen, R.T. (2006). Changes in hydraulic roughness coefficients for circumferentially strained M294 pipe. *Transportation Research Record*. 1976 (1): 149-154.
- Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision. (2013). Criteria for Design and Commonly use Drawings of Subsurface Drainage Structures. No. 576. Pp. 30. (In Persian).
- Yang, H.Y., Wu, J., Guo, C., Li, H. and, Wu, Z. (2023). Effects of geotextile envelope and perforations on the performance of corrugated drain pipes. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 16 (1): 36-44.
- Youri, M.R., Sharifan, H., and Hezarjaribi, A. (2017). Extrimental Assessment of Three Types of Envelopes Used in Subsurface Drainages. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 11 (1): 58-68. (In Persian).
- Zaghloul, N.A. (1998). Flow simulation in circular pipes with variable roughness using SWMM-EXTRAN model. *Journal of Hydraulic Engineering*. 124 (1): 73-76.



Experimental Study of roughness coefficient in smooth and corrugated drainage pipes with envelop and non-envelope

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The roughness coefficient is effective parameter in the drainage pipes that constant coefficients, under full flow conditions an error in calculating could result. Therefore, knowing the from of experimental roughness coefficients are usually is needed different conditions type of pipes and under half depth or lower flows. The roughness coefficient can be determined from the Darcy-Weissbach and Manning formula. The roughness coefficient of two types of smooth and corrugated pipes using the physical model in three states: mineral envelop, artificial (plastic mesh) produced domestically, and non-envelop according to U.S.B.R. has been studied in a sandy soil. The objective of this research is to determined roughness coefficient from Manning, Ganguillet-Cutter and combination Reynolds&Darcy-Weissbach formulas in drainage pipes.

Materials and Methods

The required soil was a combination of sandy and clay soil. In this research, an experimental box model was used. The roughness coefficient was determined by independent tests in the two smooth pipe with a diameter of 63 and corrugated with a diameter 56mm. The first set was for pipes with envelop of mineral, second test included synthetic materials and third test pipes without envelop. For mineral envelop is used d60 of Particle Size Distribution curve according to U.S.B.R standard. For artificial materials, plastic with 2mm mesh was used based on the criterion of $1 \leq \frac{d_{90}}{d_{90}} \leq 2.5$. pipe of drainage length was 100cm, which installed with a slope of 2%. The discharge of drain pipe was measured in different time steps. To compare the results, were used factors R2 and RMSE.

Results and Discussion

With roughness coefficient of the pipe increases, to reduce the flow velocity and discharge rate in the pipe. The smooth or corrugated of pipe and the hydraulic conditions inside the pipe with the greatest effect have on the roughness coefficient. Value of 'n' Manning's in the first 30cm of the smooth pipe with artificial, mineral envelop and non-envelop was 0.0111, 0.0113, 0.0112, and for the corrugated pipe obtained 0.0090, 0.0091, 0.0094. The same changes at the first of 30cm from the Ganguillet-Cutter relationship and the Reynolds-Darcy-Weissbach relationship were also established. So that 'n' Ganguillet-Cutter's was obtained for the smooth pipe in synthetic envelop, mineral and non-envelop, 0.0048 and for the corrugated pipe 0.0042, 0.0042 and 0.0043, respectively. The roughness coefficient, from the Reynolds-Darcy Weissbach combination formula in the smooth pipe with synthetic envelop, mineral and non-envelop was calculated 0.0050, 0.0050, 0.0049 and for the corrugated pipe 0.0048, 0.0048, 0.0049. The resulting roughness coefficient values for the second 30 cm of the pipe have the same conditions as the first 30cm of the pipe. In total, the average 'n' Manning's for the first and second 30cm of the smooth pipe with synthetic envelop, mineral, and non-envelop was 0.0106, 0.0111, 0.011 and for the corrugated pipe 0.0088, 0.009, 0.0091. Also, the average 'n' Manning's from the Ganguillet-Cutter relationship for both lengths of smooth pipe with artificial envelop, mineral, non-envelop is 0.0048, 0.0048, 0.0048 and for corrugated pipe 0.0041, 0.0042, 0.0042 obtained. The average 'n' Manning's from the combined Reynolds-Darcy-Weissbach relationship for the length of first and second of the smooth pipe with artificial envelop, mineral, non-envelop 0.005, 0.005, 0.0049 and for the corrugated one 0.0048, 0.0048, 0.0049 was obtained. The lack of clear difference in the roughness difference between two smooth and corrugated pipes can be seen in the small diameter of the pipes, low roughness, the short height of the waves in the corrugated pipe, the close distance of the waves to each other, and the shape of the corrugated pipe waves. The Manning theory stated that the flow rate is inversely proportional to the roughness coefficients. From the experiments, it shows smoother surface is having higher roughness coefficient and higher retarding effect on the water flow, lower flow rate is produced. Results showed, R2 and RMSE of the Ganguillet-Cutter than Manning in the smoot pipe are 0.80-0.97 and 0.006-0.007, and corrugated pipe 0.82-0.96 and 0.005 respectively. Also, this factors of the combinate Reynolds&Darcy-Weissbach in the smoot pipe 0.08-0.84 and 0.006-0.007 and corrugated pipe 0.03-0.90 and 0.004 - 0.005 respectively. This study showed in addition to Manning formula providing a roughness coefficient way of estimating, Ganguillet-Cutter can be the accuracy and efficiency of the prediction of the roughness coefficient. Now, corrugated plastic pipe in envelope is first choices. It is much more complicated for corrugated drains. The performance comparison of each of the envelops regarding the roughness value showed that both envelops have an acceptable hydraulic performance.

Keywords: Manning Coefficient, Ganguillet-Kutter, Combined Roughness Coefficient of Reynolds and Darcy Weisbach, Smooth and Corrugated Pipe, Drainage Envelope.