

## تحلیل تغییرات هیدرولیک جریان تحت تاثیر سن لوله

وحید یزدانی<sup>۱\*</sup>، سپیده یکه‌باش<sup>۲</sup>، مازیار بهرامی<sup>۳</sup>

(۱) دکتری علوم و مهندسی آب، مدیر عامل شرکت مهندسی مشاور هیدروپی میراب شمس

(۲) دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط زیست موسسه آموزش عالی اسرار

(۳) دکتری مهندسی عمران - مدرس گروه مهندسی عمران موسسه آموزش عالی اسرار

\*نویسنده مسئول: v.yazdany@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۱

### چکیده

افزایش روز افزون جمعیت شهرها و پیشرفت صنایع در همه کشورها برای آبرسانی شهرها مسئله‌ی بسیار مهم و پیچیده‌ای به وجود آورده که حل آن تنها با کمک متخصصان و تکنسین‌های کارآموده امکان‌پذیر می‌باشد. مطالعه حاضر بر روی چندین خط انتقال که شامل: لوله‌های فایبرگلاس و لوله‌های پلی‌اتیلن با اقطار ۱۱۰ الی ۴۰۰ میلی‌متر بود، صورت گرفت. براساس تحلیل‌های هیدرولیک مشخص گردید که در خط انتقال لوله فایبرگلاس با تغییر ضریب C از ۱۴۰ به ۱۳۵ و از ۱۳۵ به ۱۳۰ میزان افزایش لفت برابر ۳/۲ و ۳/۵ درصد می‌باشد. ایجاد تغییرات ۳/۵ و ۷/۱ درصد در مقادیر ضریب زبری میزان افت هیدرولیکی به ترتیب به میزان ۳/۲ و ۶/۷ درصد افزایش یافته است. در خطوط لوله که سرعت جریان آب نزدیک به ۱/۵ متر بر ثانیه می‌باشد، حساسیت این عدم قطعیت افزایش می‌یابد. براساس نتایج بدست آمده مقدار افزایش افت با تغییر ضریب C از ۱۳۵ به ۱۳۰ و از ۱۳۰ به ۱۲۵ به طور متوسط در تمام مسیرهای مورد بررسی، حدود ۶ درصد می‌باشد. با گذشت زمان و کهنه‌شدن لوله‌ها، فشارهای طراحی شده در گره‌های برداشت تامین نخواهد شد که برای این امر باید از ایستگاه‌های پمپاژ استفاده نمود که هزینه‌های بهره‌برداری را افزایش می‌دهد. نتایج مربوط به لوله‌های فایبرگلاس و پلی‌اتیلن نشان داد که تاثیر ضریب زبری بر تغییرات افت در لوله‌های فایبرگلاس، کمتر از پلی‌اتیلن است. نتایج مشخص نمود که سرعت جریان عامل تاثیرگذار بر تغییرات افت ناشی از تغییر ضریب هیزن ویلیامز می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: افت هیدرولیکی، خطوط انتقال، ضریب هیزن ویلیامز، هیدرولیک جریان.

## مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت شهرها و پیشرفت صنایع در همه کشورهای جهان برای آب‌رسانی شهرها مسئله‌ی بسیار مهم و پیچیده‌ای به وجود آورده که حل آن تنها با کمک متخصصان و تکنسین‌های کارآزموده امکان‌پذیر می‌باشد. توجه به وضعیت اجتماعی و اقتصادی مردم در زمینه پیشرفت آن شهرها در فازهای مختلف اقتصادی و صنعتی برای طراحی سیستم‌های آب‌رسانی بسیار مهم و حیاتی است تا یک سیستم آب‌رسانی طراحی شود که سال‌های متمادی پاسخگوی آن شهر و منطقه باشد. بازرگان و طالبیان (۱۳۹۲) تغییرات ضریب زبری لوله‌های خط انتقال آب آستانه به لاهیجان را که دارای لوله‌های چدن داکتایل بدون پوشش سیمانی است، در گذر زمان با استفاده از روابط دارسی ویسباخ و هیزن ویلیامز مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که زبری لوله‌های چدن داکتایل بدون پوشش داخلی در این مدت افزایش یافته که میزان این افزایش زبری با گذشت زمان و ضریب عمر برای این لوله‌ها ارائه شده است. شبکه‌های توزیع آب بخش مهمی از سامانه‌های آب‌رسانی هستند که قریب ۷۰ درصد از کل هزینه‌های سامانه را به خود اختصاص می‌دهند (Sadat-Maki, 2014). از این رو به دلیل صرف هزینه زیاد در بخش توزیع آب، اعتماد‌پذیری شبکه‌های توزیع آب در سامانه‌های آب‌رسانی در دهه‌های اخیر توجه زیادی را به خود معطوف نموده است. ابوذری و جعفرزاده (۱۳۹۱) طی تحقیقی عوامل مؤثر در بروز حادثه‌ها در خط انتقال آب گیسور-گناباد، مانند فشارهای دائمی و گذرا، ابزار کنترل ضربه قوچ و شیرهای هوا، اثر شرایط محیطی بر خطوط لوله و کیفیت لوله‌ها را مورد مطالعه قرار دادند. سیستم انتقال آب در حالت ماندگار با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS مدل‌سازی و ضریب زبری هیزن-ویلیامز واسنجی شد. با ایجاد جریان گذرا نتایج حاصل از اندازه‌گیری محلی با نتایج عددی نرم‌افزار Hammer مقایسه گردید. آزمایش‌ها نشان داد که آب خورنده یا رسوب‌گذار نیست. با اطمینان یافتن از عملکرد مناسب ابزار کنترل ضربه قوچ، کیفیت پایین لوله‌های به کار رفته و پوسیدگی شدید، مهم‌ترین علت بروز حادثه در خط انتقال تشخیص داده شد. محاسبه طول خوردگی و تنش گسیختگی مجاز مطابق استاندارد ASME-B31 و مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده نیز این مطلب را تأیید می‌کند. در تحلیل شبکه‌های توزیع آب پارامترهای مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. عدم قطعیت موجود در پارامترهای ورودی شبکه‌ی آب‌رسانی، پارامترهای خروجی وابسته به آن‌ها را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد. از میان کلیه‌ی پارامترهای درگیر در تحلیل هیدرولیکی شبکه‌های آب‌رسانی عدم قطعیت موجود در پارامترهایی نظیر ضریب زبری لوله‌ها و مصارف در گره‌ها به صورت مؤثرتری عملکرد شبکه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این پارامترها علاوه بر آنکه ذاتاً غیرصریح و وابسته به قضاوت افراد می‌باشند؛ با گذشت زمان از عمر پروژه نیز به صورت معنی‌داری تغییر خواهند کرد. در تحلیل شبکه‌های توزیع آب پارامترهای مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بسیاری از این پارامترها را نمی‌توان به صورت مستقیم اندازه گرفت و اغلب به صورت غیرمستقیم و براساس قضاوت مهندسی و تجربیات گذشته تخمین زده می‌شوند. به هنگام تخمین یک پارامتر معمولاً علاوه بر فاکتورهای مهندسی می‌بایست مسائل اقتصادی نیز در نظر گرفته شوند، که در این صورت بروز خطا اجتناب‌ناپذیر

است. به علاوه احتیاط طبیعی نیز معمولاً منجر به تخمین دست بالای پارامتر می‌شود (Babayan et al., 2005). از این رو بسیاری از پارامترهای مؤثر در تحلیل شبکه‌ها به ندرت به صورت دقیق شناخته می‌شوند و اغلب اطلاعات موجود پیرامون آن‌ها غیر کمی و همراه با درجه‌ای از تصورات می‌باشد (Revelli and Ridolfi, 2002). به علاوه با توجه به این که شبکه‌های آبرسانی وظیفه‌ی تأمین آب را برای یک دوره‌ی طولانی به عهده دارند، تغییرات بوجود آمده در روند افزایش جمعیت و نیز تغییر الگوی مصرف و به دنبال آن تغییر در مقدار نیاز در گره‌های مصرف و همچنین تغییرات ضریب زبری با گذشت زمان در اثر افزایش رسوب و یا خوردگی باعث بروز عدم قطعیت می‌شوند. در عمل مدل‌های شبیه‌سازی شبکه‌های آبرسانی به عنوان مدل‌هایی با ورودی قطعی و دقیق مورد استفاده قرار می‌گیرند، به این معنی که یک مقدار قطعی و دقیق را به عنوان محتمل‌ترین مقدار برای پارامترهای ورودی در نظر می‌گیرند که در نتیجه‌ی آن مقدار یگانه و واحدی نیز برای پارامترهای خروجی محاسبه می‌شود. این در حالی است که عدم قطعیت موجود در پارامترهای شبکه‌های آبرسانی به شدت اعتمادپذیری هیدرولیکی شبکه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این شرایط نتایج حاصل از مدل‌سازی، از اطمینان‌پذیری قابل قبولی برخوردار نخواهند بود و ممکن است که شبکه موردنظر در سال‌های انتهایی دوران بهره‌برداری، اعتمادپذیری لازم در تأمین نیاز مصرف‌کنندگان را نداشته باشند. بنابراین بدون تحلیل عدم قطعیت نمی‌توان از بحرانی بودن مقادیر در نظر گرفته شده برای پارامترهای ورودی و همچنین نتایج حاصل برای پاسخ‌های مدل، اطمینان حاصل کرد. از این رو به کارگیری روش‌هایی که عدم قطعیت موجود در پارامترهای ورودی و تأثیر آن‌ها بر پارامترهای خروجی را مورد بررسی قرار می‌دهند لازم به نظر می‌رسد. به منظور تخمین عدم قطعیت در شبکه‌های آبرسانی روش‌های متعددی وجود دارد. روش مونت کارلو یکی از پرکاربردترین روش‌ها در تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی عدم قطعیت در شبکه‌های آبرسانی می‌باشد. به عنوان نمونه در این زمینه می‌توان به تحقیقاتی از Bargiela و Hainsworth (۱۹۸۹)، Bao و Mays (۱۹۹۰) و Kang و همکاران (۲۰۰۹) اشاره کرد. Echavez (۱۹۹۷) با بررسی لوله‌های گالوانیزه و مسی با قطر تا دو اینچ و سن ۱۵ تا ۵۰ سال برای تغییرات زبری با سن لوله در لوله‌های گالوانیزه فرمولی ارائه نموده و بیان نموده که در لوله‌های مسی تأثیر سن لوله بر میزان تغییرات زبری قابل چشم‌پوشی می‌باشد. عدم شمول لوله‌های با سایز بالاتر در این تحقیق کاستی این پژوهش می‌باشد. گیوه‌چی و بردستانی (۱۳۹۲) با استفاده از سیستم تطبیقی استنتاج فازی-عصبی ضریب اصطکاک در لوله‌ها را تخمین و روش جدیدی ارائه نموده‌اند. داده‌های به دست آمده از این روش با داده‌های معادلات کلبروک مقایسه نموده و مدعی است دارای تطابق بالای ۹۹ درصد می‌باشد. همچنین دارای مزیت آسانی و دقت مطلوب در مقایسه با روش‌های قدیمی زمان‌بر و تکراری مسائل هیدرولیکی می‌باشد. دماوندی و همکاران (۱۳۹۲) اثر ضربه قوچ در خط انتقال فولادی و محل‌هایی که از لوله پلی‌اتیلن به صورت موردی استفاده شده است را بررسی نمودند. آن‌ها مدعی هستند اگر چه خط انتقال با لوله پلی‌اتیلن موج‌های فشاری ناشی از پدیده ضربه قوچ را میرا می‌کند، اما به کار بردن ترکیبی آن با لوله‌های فولادی موجب افزایش ناگهانی فشار شده و امکان آسیب‌زدن به

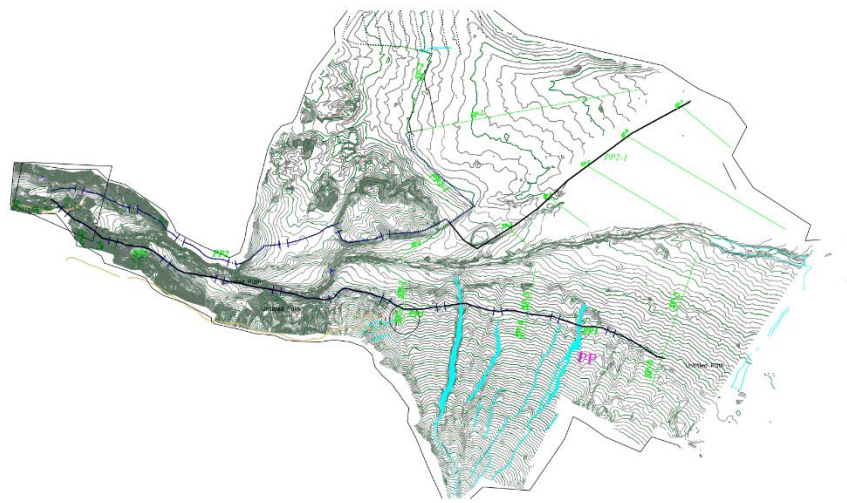
تاسیسات را بالا می‌برد. Abdel-Monim و همکاران (۲۰۰۵) تاثیر زمان بر زبری لوله‌ها را بررسی و بیان می‌دارد که برای لوله‌های فولادی و استیل نسبت به لوله‌های پی وی سی این تاثیر بسیار بیشتر می‌باشد. آن‌ها مدعی هستند برای عمر ۵۰ سال این میزان برای لوله‌های پی وی سی ۱.۵ برابر در حالی که برای لوله‌های استیل حدود چهار برابر است. همچنین این میزان در لوله‌هایی که آب خام به جای آب فیلتر شده در لوله‌ها باشد بیش تر گزارش شده است. Frank و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی لوله‌های پلی‌اتیلن در شبکه توزیع با عمر ۳۰ سال پرداخته‌اند. آن‌ها مدعی هستند که بررسی فیزیکی و مورفولوژیکی بر روی شبکه توزیع آب در اتریش نشان داده که ادامه استفاده از این لوله‌ها برای سال‌های آتی ایمن خواهد بود. Li و Huai (۲۰۱۶) برای جریان آشفته در لوله‌ها فرمول کلی ارائه نموده که با استفاده از آن ضریب زبری به دست خواهد آمد. این فرمول از بررسی همبستگی بین زبری در لوله‌ها با جریان آشفته و فاکتورهای موثر بر آن مانند عدد راینولدز و زبری نسبی به دست آمده است. همچنین از فرمول بلاسیوس و استریکلر برای تنظیم مجدد مدل تاو استفاده شده و نتایج با اعداد به دست آمده از فرمول نیکورادزه مقایسه شده است. نویسنده مدعی است که دقت محاسباتی فرمول ارائه شده بیش تر می‌باشد. Dini و Tabesh (۲۰۱۴) در تحقیقی نسبت به کالیبراسیون هم‌زمان ضرایب الگوی مصرف و ضرایب هیزن ویلیامز شبکه توزیع اهر پرداخته‌اند. مرادی سبزه‌کوهی و حقیقی (۱۳۹۸) نیز طی بررسی اثر تنش‌های هیدرولیکی بر عملکرد شبکه‌های توزیع آب بیان داشتند که اعمال ۱۵ درصد تنش در زبری لوله‌ها باعث ایجاد تنش هیدرولیکی تا ۱۰/۲ درصد خواهد بود. Genic و همکاران (۲۰۱۱) زبری به دست آمده از معادله هیزن ویلیامز را با نتایج معادلات داریسی و ایسباخ مقایسه کردند و ادعا نمودند که برای مقادیر بزرگ تری از عدد راینولدز معادله هیزن ویلیامز قابل اطمینان نمی‌باشد. طرح یک سیستم تاسیسات آب‌رسانی تنها وقتی رضایت بخش خواهد بود که طرح کنندگان آن بررسی‌های مقدماتی کافی در مورد امکان‌های هیدرولوژیک محل، مقدار آب موجود، مقدار افزایش جمعیت در آینده و نیز وضعیت پیشرفت صنایع در آن ناحیه به عمل آورده و همچنین میزان و تاثیرات ناشی از تغییر طول شبکه نیز تحلیل شده باشد. بر این اساس در این مقاله نسبت به بررسی تعیین تاثیر مدت کارکرد لوله‌های انتقال آب و در نتیجه آن تغییر در مقدار ضریب هیزن ویلیامز بر هیدرولیک جریان در خطوط انتقال آب اقدام شده است.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در جنوب غربی شهر هرات بر روی رودخانه اعظم واقع در استان یزد می‌باشد. جهت انتقال آب از سد به ابتدای شبکه آبیاری از دو خط لوله در ساحل راست و چپ رودخانه استفاده شده است. موقعیت سد در مسیر جغرافیایی "۴۰ / ۵ ° ۵۴ طول جغرافیایی و ۳۰ / ۵۵ ° ۲۹ عرض جغرافیایی واقع گردیده است. مسیر انتقال منطبق بر جوی‌های سنتی کشاورزان قرار گرفته تا علاوه بر کاهش مشکلات اجتماعی و تملک زمین از توپوگرافی مسیر نیز استفاده بهینه شود (شکل ۱).

بر اساس مساحت اراضی در ساحل چپ (۵۵ درصد از اراضی در ساحل چپ) و ساحل راست (۴۵ درصد از اراضی در ساحل راست) به ترتیب قطر لوله‌های انتقال برابر ۴۰۰ و ۳۵۰ میلی‌متر می‌باشند (شکل ۱).



شکل ۱: پلان خطوط انتقال سد هرات

خط لوله انتقال در ساحل راست به طول ۵/۲ کیلومتر از محل آبرگیر سد و خطوط لوله درجه یک شبکه آبیاری در ساحل چپ به طول ۸/۳ کیلومتر از محل آبرگیر سد آب مورد نیاز ۳۵۰ هکتار اراضی حقا به‌بر را تامین می‌نمایند. حداکثر دبی عبوری از خط لوله در ساحل راست در ابتدای آن معادل ۱۰۷/۵ لیتر در ثانیه و حداکثر دبی عبوری از خط لوله در ساحل چپ در ابتدای آن معادل ۱۳۲ لیتر در ثانیه می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱: مشخصات عمومی خطوط انتقال سد هرات

ردیف	عنوان خط درجه یک	طول خط لوله	سایز جنس و فشار اسمی لوله	تعداد آبرگیر درجه ۲	تعداد حوضچه شیر تخلیه	تعداد حوضچه شیر هوا	توضیحات
۱	PP1	۸۳۳۲	GRP 400, 350, PE, 250, 200 (6, 10 at)	۶	۷	۱۳	ساحل چپ
۲	PP2	۵۲۸۳	GRP 350, PE 250,	۸	۱۰	۲۱	ساحل راست

#### موقعیت جغرافیایی اراضی طرح خط انتقال روستای ارزنه-شهرستان باخرز

طرح مورد مطالعه در استان خراسان رضوی و در شهرستان باخرز واقع در حوالی روستای ارزنه-تنگل ژرف نیکوکار در مختصات طول جغرافیایی  $34^{\circ} 03' 34''$  و عرض جغرافیایی  $98^{\circ} 57' 38''$  می‌باشد. منبع تامین آب قنات موجود در منطقه می‌باشد که دارای دبی دائمی حدود ۱۵ لیتر در ثانیه بوده است. شیب مسیر انتقال بر اساس نقشه‌برداری صورت گرفته حداکثر برابر ۴/۵ درصد و در جهت غرب به شرق است.



شکل ۲: تصویر ماهواره‌ای اراضی و مسیر خط لوله روستای ارزنه

### موقعیت جغرافیایی اراضی طرح روستای کردیان-شهرستان باخرز

طرح مورد مطالعه در استان خراسان رضوی و در شهرستان باخرز واقع در حوالی روستای کردیان-محمد علی ابراهیمی و در مختصات طول جغرافیایی  $48^{\circ} 24'$  و عرض جغرافیایی  $32^{\circ} 32' 38''$  می‌باشد. منبع تامین آب قنات موجود در منطقه می‌باشد که دارای دبی دائمی حدود ۵ لیتر در ثانیه بوده است. شیب مسیر انتقال بر اساس نقشه‌برداری صورت گرفته حداکثر برابر  $3/5$  درصد و در جهت غرب به شرق است.



شکل ۳: تصویر ماهواره‌ای اراضی و مسیر خط لوله روستای کردیان

### موقعیت جغرافیایی اراضی طرح روستای نقارخانه-شهرستان باخرز

طرح مورد مطالعه در استان خراسان رضوی و در شهرستان باخرز واقع در حوالی روستای نقارخانه و در مختصات طول جغرافیایی  $49^{\circ} 25'$  و عرض جغرافیایی  $89^{\circ} 16' 38''$  می‌باشد. منبع تامین آب قنات موجود در منطقه می‌باشد که دارای دبی دائمی حدود ۵ لیتر در ثانیه در زمان بازدید بوده است. شیب مسیر انتقال بر اساس نقشه‌برداری صورت گرفته حداکثر برابر  $6/5$  درصد و در جهت غرب به شرق است. خلاصه مشخصات عمومی خطوط درجه یک شبکه اصلی آبیاری روستاهای شهرستان باخرز در جدول (۲) آمده است.



شکل ۴: تصویر ماهواره‌ای اراضی و مسیر خط لوله - روستای نقارخانه

جدول ۲: مشخصات خطوط انتقال مورد بررسی در منطقه باخرز

ردیف	عنوان خط درجه یک	طول خط لوله	سایز جنس و فشار اسمی لوله
۳	ارزنه	۲۵۰۰	PE ,200
۴	کردیان	۲۵۰۰	PE ,110
۵	نقارخانه	۱۰۰۰	PE ,160

### روش محاسبه افت فشار در لوله‌ها

### روش منتخب جهت محاسبات هیدرولیکی

برای تحلیل تاثیر ضریب زبری و محاسبه افت اصطکاکی مسیر از رابطه هیزن ویلیامز استفاده شد.

$$H_f = 1075 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * D^{-4.87} \quad \text{رابطه ۱:}$$

در رابطه فوق Q بر حسب مترمکعب بر ثانیه و D بر حسب متر می‌باشد.

افت ورودی و ضریب افت شیر در حالت بازشدگی کامل شیر که به نوع آن بستگی دارد نیز در محاسبات لحاظ می‌شود. برای شیر کروی

و قطر ۸ اینچ مقدار ضریب افت سرعت  $K=5/5$  می‌باشد.

### انتخاب ضریب هیزن ویلیامز (C)

مقدار ضریب C در رابطه هیزن - ویلیامز بستگی به جنس و قطر و شرایط لوله دارد. هرچه جدار داخلی لوله زبرتر باشد مقدار آن کم‌تر خواهد بود. در یک دوره طرح معین لوله‌های پلی اتیلن نسبت به سایر لوله‌ها دارای ضریب C بیش‌تر می‌باشند و لوله‌های آزیست سیمان، چدن داکتایل و لوله‌های فولادی به ترتیب دارای ضریب C کم‌تر می‌باشند. مقدار C برای لوله‌های پلی اتیلن، آزیست سیمان، فولادی، چدن داکتایل و فایبرگلاس، در ابتدای طرح که جدار آن‌ها صاف و صیقلی است، به ترتیب ۱۳۵، ۱۲۰،

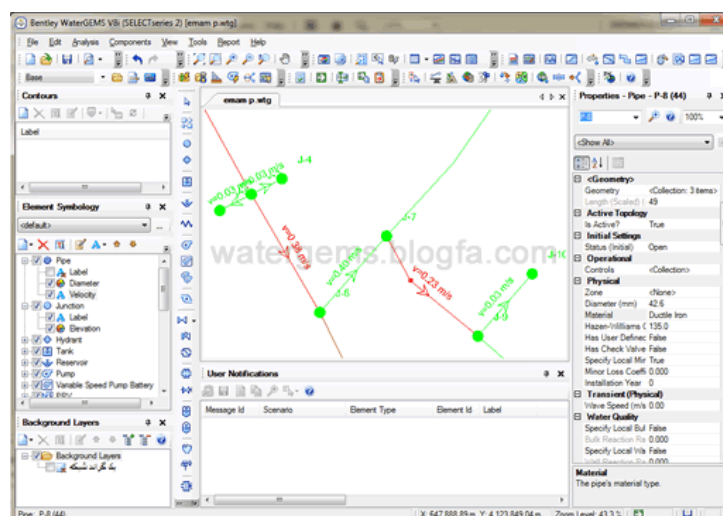
۱۲۵، ۱۱۵ و ۱۴۰ توصیه می‌شود. گذشت زمان، کیفیت آب و خصوصاً pH و مواد قابل رسوب در لوله در مقدار C تا انتهای دوره طرح اثر خواهند گذاشت به طوری که در سال‌های بعد مقدار C کاهش یافته و در نتیجه ظرفیت لوله کم خواهد شد. معمولاً ضریب C با توجه به پیشنهاد کارخانه‌های سازنده لوله و استفاده از تجربه طراحان انتخاب می‌گردد. برای تحلیل تاثیر تغییرات ضریب C بر هیدرولیک جریان، با ایجاد تغییرات ۵ واحدی در مقدار ضریب C تاثیر این افزایش مقادیر ضریب C بررسی خواهد شد. ضریب زبری هیزن ویلیامز پیشنهادی مطابق جدول (۳) می‌باشد.

جدول ۳: ضریب زبری هیزن ویلیامز پیشنهادی (احمد آبادی و اکبرزاده، ۱۳۸۶)

ضریب هیزن - ویلیامز		جنس لوله
لوله کهنه	لوله نو	
۱۱۰	۱۲۰	لوله آزیست سیمان (AC)
۱۰۰	۱۲۰	لوله چدن داکتایل (DI)
۹۰	۱۱۰	لوله فولادی (Steel Pipe)
۱۰۰	۱۲۰	لوله گالوانیزه (GI)
۱۲۰	۱۳۵	لوله پلی‌اتیلن (PE)
۱۲۰	۱۴۰	لوله فایبرگلاس (GRP)
۱۲۰	۱۴۰	لوله PVC

#### نرم‌افزار مورد استفاده

WaterGEMS از جمله پرکاربردترین و ساده‌ترین نرم‌افزارهای مدلینگ شبکه‌های توزیع آب است و می‌تواند بر روی ArcGIS، اتوکد یا میکرواستیشن و یا به صورت مجزا اجرا شود. این برنامه قابلیت‌های زیادی دارد، شبیه‌سازی دبی آتش‌نشانی، کیفیت آب، محاسبات هزینه انرژی و مباحث پیشرفته‌تری مثل طراحی و بهینه‌سازی شبکه با استفاده از الگوریتم ژنتیک. جهت تحلیل هیدرولیکی جریان، لایه لوله‌ها و لایه توپوگرافی وارد نرم‌افزار، سپس با وارد کردن مشخصات لوله شامل دبی، قطر، فشار کاری و همچنین مشخصات گره‌های برداشت اقدام به ارزیابی شد.



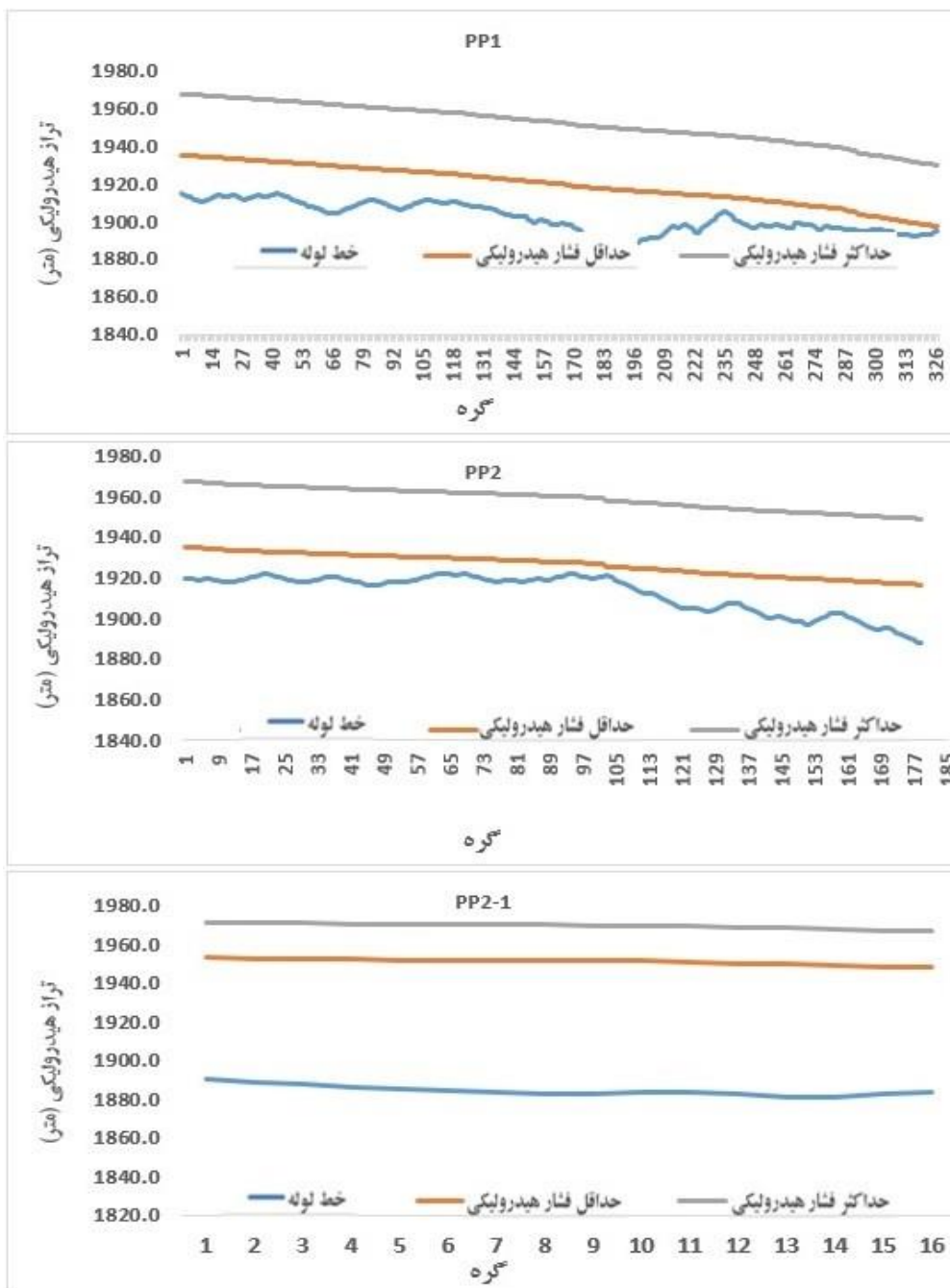
شکل ۵: نمایی از نرم‌افزار Water GEMS



## نتایج و بحث

### تحلیل شبکه سد هرات

نتایج تحلیل هیدرولیکی خط انتقال سد هرات در شرایط لوله‌نو در (شکل ۶) نشان داده شده است. بر اساس نتایج هیدرولیکی به‌دست آمده با فاصله گرفتن از محل سد و با توجه به بیش‌تر بودن شیب زمین نسبت به شیب خط هیدرولیکی فشار در طول مسیر افزایش یافته است. بطوری‌که انتهای مسیر فشار کاری لوله‌ها برابر ۱۰ اتمسفر شده است. همچنین قبل از اعمال تغییرات در ضریب هیزن ویلیامز محاسبات هیدرولیکی به تفکیک خطوط انتقال انجام شده که در جدول ۴ نشان داده شده است. بر اساس نتایج هیدرولیکی و سیمای خط انتقال فوق، کم‌ترین فشار برداشت در پایین سطح تراز برداشت آب در سد برابر ۰/۵ متر که در حوضچه O3 روی خط PP1-1 و بیش‌ترین مقدار فشار در بالاترین سطح برداشت آب از سد (تراز نرمال) برابر ۶۷/۷ متر بوده که در حوضچه O2 روی خط PP2-2 می‌باشد. همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها اشاره شد با اعمال تغییرات ۵ واحدی در مقدار ضریب C نتایج افت فشار برای خط انتقال سد هرات تحلیل شد (شکل ۷). همان‌طور که در (شکل ۷) نیز مشخص شده است با کاهش مقدار ضریب هیزن ویلیامز میزان افت هیدرولیکی افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج بدست آمده مقدار افزایش افت با تغییر ضریب C از ۱۴۰ به ۱۳۵ و از ۱۳۰ به ۱۳۰ و از ۱۳۰ به ۱۲۵ و بالاخره از ۱۲۵ به ۱۲۰ به‌ترتیب میزان افزایش افت برابر ۳/۲، ۳/۵، ۳/۸ و ۴/۱ درصد می‌باشد. این نتیجه مشخص می‌کند که هرچه از عمر مفید لوله فایبرگلاس می‌گذرد، مقدار افت هیدرولیکی افزایش یافته است که این افزایش هم بر سرعت جریان آب در لوله تاثیر گذاشته و هم بر میزان دبی عبوری تاثیر گذار است. نتایج کاملاً مشابهی در سایر مسیرهای خط انتقال سد هرات مشاهده گردید. در ادامه باید اشاره نمود که ایجاد تغییرات ۳/۵، ۷/۱، ۱۰/۷ و ۱۴/۲ درصدی در مقادیر ضریب زبری میزان افت هیدرولیکی به ترتیب به میزان ۳/۲، ۶/۷، ۱۰/۳ و ۱۴ درصد افزایش یافته است.

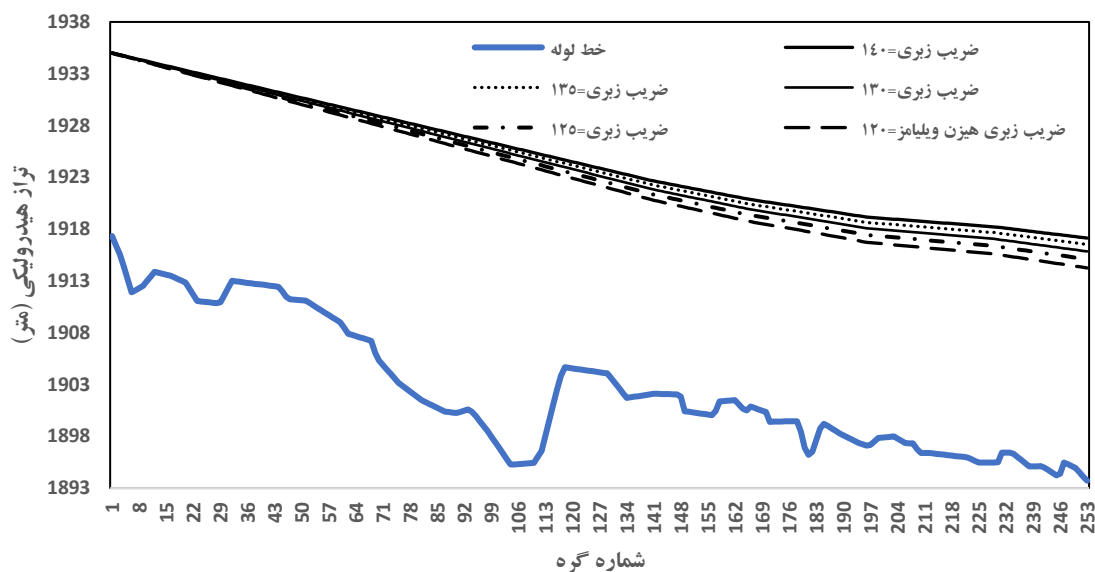


شکل ۶: پروفیل‌های هیدرولیکی خطوط درجه یک

باید اشاره نمود که این تغییرات افت باعث کاهش فشار هیدرولیکی در گره‌های برداشت شده که این امر نیز خود بر هیدرولیک خطوط فرعی تاثیرگذار خواهد بود به طوری که در حوضچه O3 روی خط PP1-1 با فشار منفی روبرو خواهیم شد که در این صورت بهره‌برداری از خط انتقال امکان‌پذیر نمی‌باشد. لازم به ذکر است که به دلیل عدم وجود پمپاژ جبران این افت امکان‌پذیر نمی‌باشد.

جدول ۴: مشخصات گره‌های برداشت

خط لوله	دبی	فشار		مختصات		شماره حوضچه برداشت
		Max Dyn.P (m)	MinDyn.P (m)	Y	X	
PP1	12.5	43.0	10.5	Y= 3312861.12	X= 222525.51	O1
	13.5	41.2	8.7	Y= 3312749.08	X= 222989.47	O2
	63.4	43.9	11.4	Y= 3312786.94	X= 223287.85	RO
	9.88	42.4	9.9	Y= 3312724.02	X= 223591.85	O3
	12.87	43.2	10.7	Y= 3312605.89	X= 224235.99	O4
	9.85	43.9	11.4	Y= 3312482.01	X= 224660.1	O5
PP1-1	5.4	45.6	13.1	Y= 3313045.39	X= 223374.88	O1
	16.4	38.8	6.3	Y= 3312981.56	X= 224262.4	O2
	16.6	33.0	0.5	Y= 3312849.87	X= 224758.18	O3
	25	33.4	0.9	Y= 3312668.08	X= 225346.08	O4
PP2	8.7	46.8	14.3	Y= 3313614.84	X= 220478.44	O1
	18.2	45.6	13.1	Y= 3313255.94	X= 221691.63	O2
	9	57.2	24.7	Y= 3313427.07	X= 223110.96	O3
	115	57.2	24.7	Y= 3313427.07	X= 223110.96	LO1
PP2-1	10	48.4	15.9	Y= 3314033.17	X= 222643.97	O1
	16	52.5	20.0	Y= 3314514.31	X= 222889.11	O2
	11	53.4	20.9	Y= 3314738	X= 223143.43	O3
	23	53.9	21.4	Y= 3315049.62	X= 223227.3	O4
PP2-2	28	61.7	29.2	Y= 3313698.91	X= 224084.29	O1
	27	67.7	35.2	Y= 3314559.4	X= 224962.27	O2

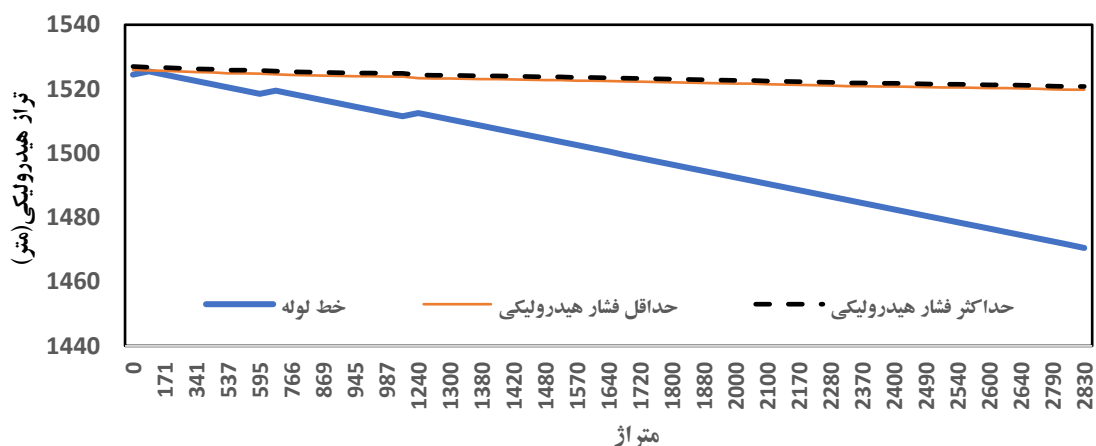


شکل ۷: مقایسه حداقل فشار هیدرودینامیکی در خط PPI-سد هرات

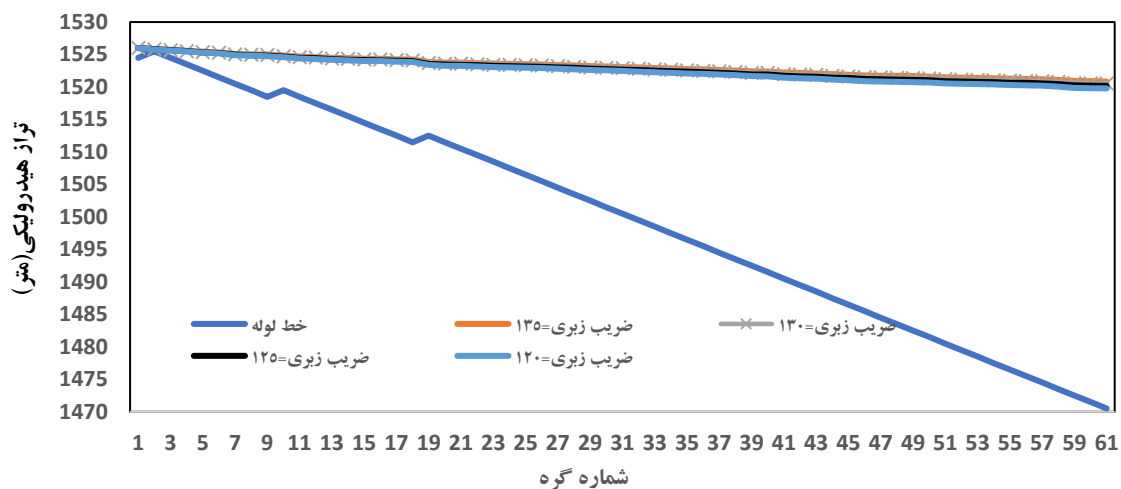
### نتایج و تحلیل خط انتقال روستای ارزنه باخرز

همان‌طور که در شکل ۸ مشخص است شیب زمین بسیار زیاد بوده و غالب بر شیب جریان هیدرولیکی (شیب خط افت هیدرولیکی) می‌باشد. آب‌گیری از قنات و دبی کم در مقابل قطر بالای (۲۰۰ میلی‌متر) خط انتقال افت هیدرولیکی خط را در مسیر ناچیز کرده است. با اعمال تغییرات ۵ واحدی (تغییرات ۳/۷، ۷/۴ و ۱۱/۱ درصدی در مقادیر ضریب زبری) در مقدار ضریب C نتایج افت فشار برای خط انتقال روستای ارزنه شهرستان باخرز تحلیل شد (شکل ۹). همان‌طور که در (شکل ۹) نیز مشخص

شده است با کاهش مقدار ضریب هیزن ویلیامز میزان افت هیدرولیکی افزایش می‌یابد. بطوری‌که هد هیدرولیکی در شرایط لوله کهنه پایین‌ترین نقطه می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده مقدار افزایش افت با تغییر ضریب C از ۱۳۵ به ۱۳۰ و از ۱۳۰ به ۱۲۵ و بالاخره از ۱۲۵ به ۱۲۰ به ترتیب میزان افزایش افت برابر  $۵/۶$ ،  $۵/۵$  و  $۶/۹$  درصد می‌باشد. این نتیجه مشخص می‌کند که هرچه از عمر مفید لوله پلی‌اتیلن می‌گذرد مقدار افت هیدرولیکی افزایش خواهد یافت که این افزایش هم بر سرعت جریان آب در لوله تاثیر گذاشته و هم بر میزان دبی عبوری تاثیر گذار است. به عبارت دیگر با گذشت زمان و کهنه‌شدن لوله‌های پلی‌اتیلن فشارهای طراحی شده در گره‌های برداشت تامین نخواهد شد که برای این امر باید از ایستگاه‌های پمپاژ استفاده نمود که هزینه‌های بهره‌برداری از خط را افزایش می‌دهد در ادامه باید اشاره نمود که ایجاد تغییرات  $۳/۷$ ،  $۷/۴$  و  $۱۱/۱$  درصدی در مقادیر ضریب زبری میزان افت هیدرولیکی به ترتیب به میزان  $۵/۶$ ،  $۱۱/۴$  و  $۱۷$  درصد افزایش یافته است. در ادامه برای درک بهتر از مقادیر افزایش افت باید اشاره نمود که افت در شرایط لوله نو  $C=135$  برابر  $۵/۱۷$  متر می‌باشد و با کاهش مقدار C به ترتیب مقدار افت برابر  $۵/۴۸$ ،  $۵/۸$  و  $۶/۳۳$  متر می‌باشد.



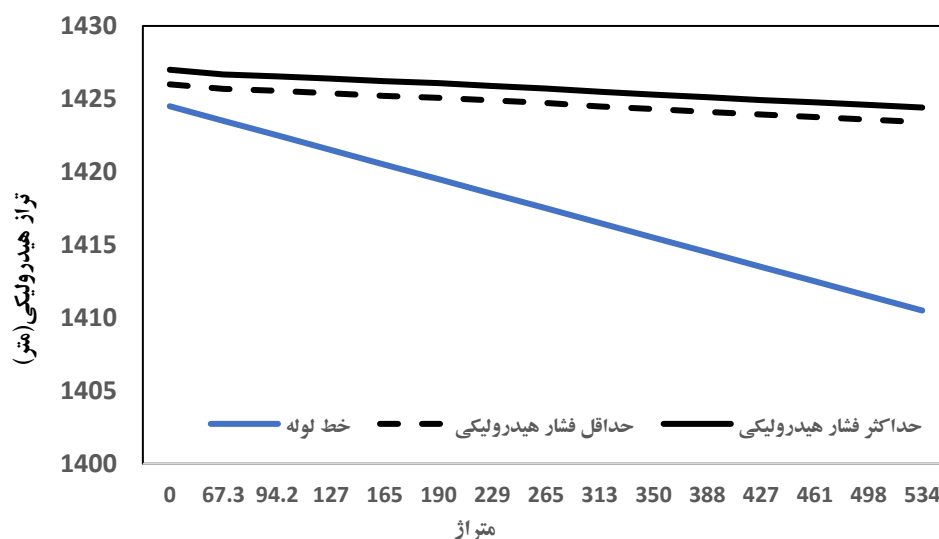
شکل ۸: روند تغییرات تراز هیدرولیکی خط انتقال روستای ارزنه



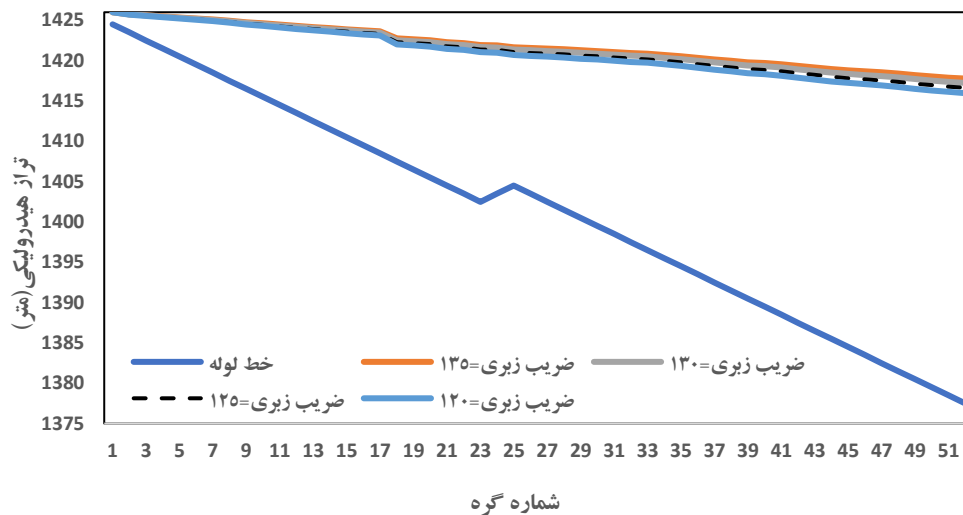
شکل ۹: مقایسه خط تراز حداقل تراز هیدرولیکی در ضرایب مختلف هیزن ویلیامز - روستای ارزنه

## نتایج و تحلیل خط انتقال روستای کردیان باخرز

همان طور که در شکل ۱۰ نیز مشخص است در خط انتقال شماره ۲ روستای کردیان شهرستان باخرز و کیلومتر ۸۱ متر به دلیل توپوگرافی مسیر شیب هد هیدرولیکی موجود در خط انتقال به حداقل خود رسیده است و در این مترها شرایط بحرانی را حاکم نموده است. اما در ادامه مسیر به دلیل شیب بیش تر زمین نسبت به شیب هیدرولیکی جریان، فشار موجود در خط افزایش یافته است. با اعمال تغییرات ۵ واحدی (تغییرات ۳/۷، ۷/۴ و ۱۱/۱ درصدی در مقادیر ضریب) در مقدار ضریب C نتایج افت فشار برای خط انتقال روستای کردیان شهرستان باخرز تحلیل شد (شکل ۱۱). همان طور که در شکل ۱۱ نیز مشخص شده است با کاهش مقدار ضریب هیزن ویلیامز میزان افت هیدرولیکی افزایش می یابد. بر اساس نتایج بدست آمده مقدار افزایش افت با تغییر ضریب C از ۱۳۵ به ۱۳۰ و از ۱۳۰ به ۱۲۵ و بالاخره از ۱۲۵ به ۱۲۰ به ترتیب میزان افزایش افت برابر ۶/۱، ۶/۴ و ۶/۶ درصد می باشد. در ادامه باید اشاره نمود که ایجاد تغییرات ۳/۷، ۷/۴ و ۱۱/۱ درصدی در مقادیر ضریب زبری میزان افت هیدرولیکی به ترتیب به میزان ۵/۲، ۱۲/۰۵ و ۱۷/۹ درصد افزایش یافته است. در ادامه برای درک بهتر از مقادیر افزایش افت باید اشاره نمود که افت در شرایط لوله نو C=135 برابر ۸/۲۴ متر می باشد و با کاهش مقدار C به ترتیب مقدار افت برابر ۸/۷۷، ۹/۳۷ و ۱۰/۱ متر می باشد.



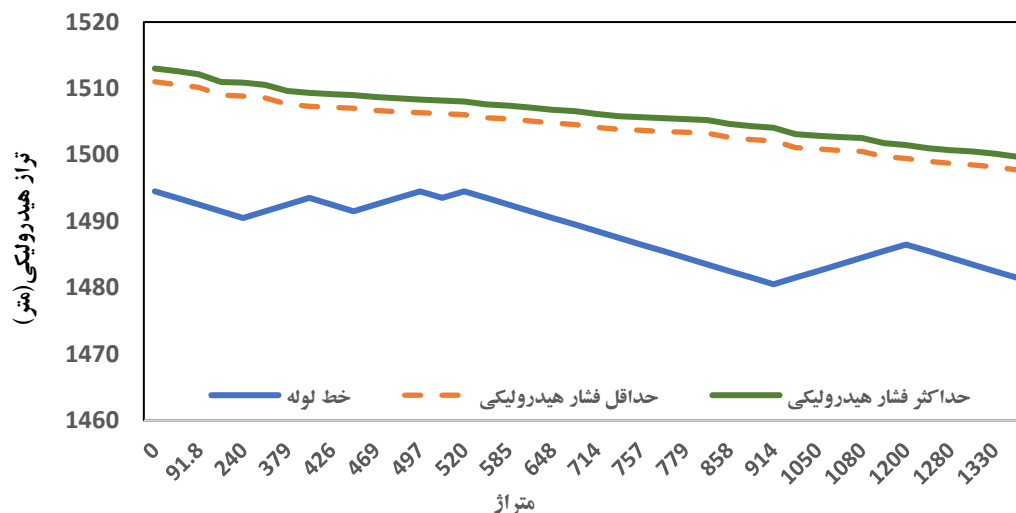
شکل ۱۰: روند تغییرات تراز هیدرولیکی خط انتقال روستای کردیان



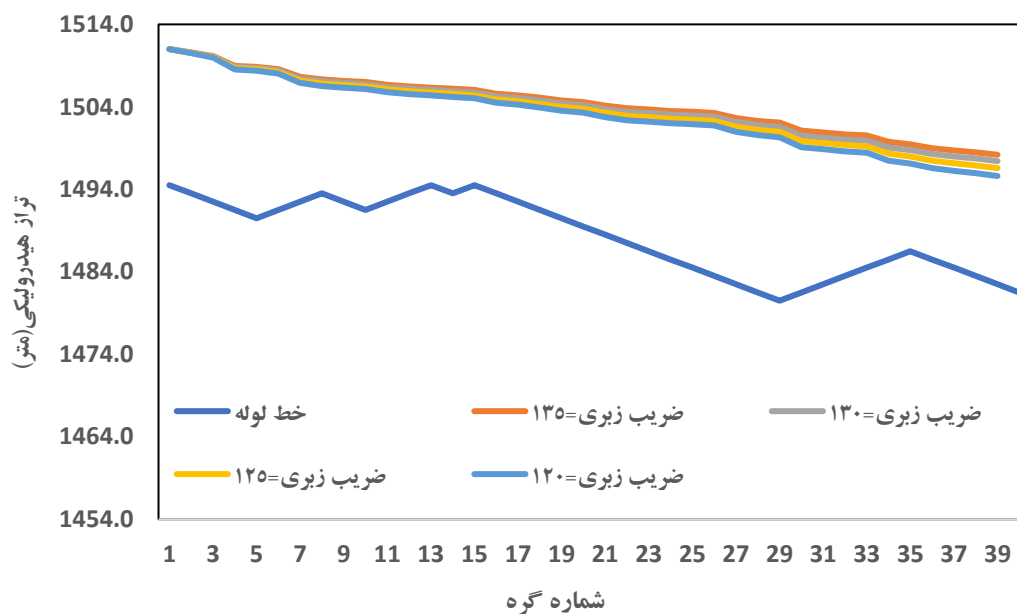
شکل ۱۱: مقایسه حداقل تراز هیدرولیکی خط انتقال روستای کردیان

### نتایج و تحلیل خط انتقال روستای نقارخانه باخرز

همان‌طور که در شکل ۱۲ نیز مشخص است شیب خط هیدرولیکی در مسیر خط انتقال روستای نقارخانه نسبت با سایر خطوط انتقال باخرز بیش‌تر است. با اعمال تغییرات ۵ واحدی (تغییرات ۳/۷، ۷/۴ و ۱۱/۱ درصدی در مقادیر ضریب) در مقدار ضریب C نتایج افت فشار برای خط انتقال روستای ارزنه شهرستان باخرز تحلیل شد (شکل ۱۳). همان‌طور که در شکل ۱۳ نیز مشخص شده است با کاهش مقدار ضریب هیزن ویلیامز میزان افت هیدرولیکی افزایش می‌یابد. همچنین با عنایت به اینکه سرعت حرکت سیال در این خط انتقال بیش‌تر از سایر خطوط انتقال شهرستان باخرز می‌باشد مقدار افزایش افت هیدرولیکی در طول مسیر به دلیل کاهش مقادیر ضریب هیزن ویلیامز مشهودتر می‌باشد. این بدان معنی است که در خطوط لوله که سرعت جریان آب نزدیک به ۱/۵ متر بر ثانیه می‌باشد. حساسیت این عدم قطعیت افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج بدست آمده مقدار افزایش افت با تغییر ضریب C از ۱۳۵ به ۱۳۰ و از ۱۳۰ به ۱۲۵ و بالاخره از ۱۲۵ به ۱۲۰ به ترتیب میزان افزایش افت برابر ۵/۷، ۵/۹ و ۶/۲ درصد می‌باشد. این نتیجه مشخص می‌کند که هرچه از عمر مفید لوله پلی‌اتیلن می‌گذرد مقدار افت هیدرولیکی افزایش خواهد یافت که این افزایش هم بر سرعت جریان آب در لوله تاثیر گذاشته و هم بر میزان دبی عبوری تاثیرگذار است. به عبارت دیگر با گذشت زمان و کهنه‌شدن لوله‌های پلی‌اتیلن فشارهای طراحی شده در گره‌های برداشت تامین نخواهد شد که برای این امر باید از ایستگاه‌های پمپاژ استفاده نمود که هزینه‌های بهره‌برداری از خط را افزایش می‌دهد. بررسی‌های هیدرولیکی نشان داد که ایجاد تغییرات ۳/۷، ۷/۴ و ۱۱/۱ درصدی در مقادیر ضریب زبری میزان افت هیدرولیکی به ترتیب به میزان ۵/۷، ۱۱/۳ و ۱۶/۸ درصد افزایش یافته است. در ادامه برای درک بهتر از مقادیر افزایش افت باید اشاره نمود که افت در شرایط لوله نو  $C=135$  برابر  $13/3$  متر می‌باشد و با کاهش مقدار C به ترتیب مقدار افت برابر  $14/11$ ،  $15/01$  و  $15/99$  متر می‌باشد.



شکل ۱۲: روند تغییرات تراز هیدرولیکی خط انتقال روستای نقارخانه



شکل ۱۳: مقایسه حداقل تراز هیدرولیکی خط انتقال روستای نقارخانه

در مقایسه نتایج مربوط به لوله‌های فایبرگلاس و پلی‌اتیلن مشخص می‌شود که تاثیر ضریب زبری بر تغییرات افت در لوله‌های فایبرگلاس کمتر از پلی‌اتیلن است. همچنین نتایج مشخص نمود که سرعت جریان عامل تاثیرگذار بر تغییرات افت ناشی از تغییر ضریب هیزن ویلیامز می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعات انجام شده مشخص گردید که در خط انتقال لوله فایبرگلاس با تغییر ضریب C از ۱۴۰ به ۱۳۵ و از ۱۳۵ به ۱۳۰ و از ۱۳۰ به ۱۲۵ و بالاخره از ۱۲۵ به ۱۲۰ به ترتیب میزان افزایش افت برابر ۳/۲، ۳/۵، ۳/۸ و ۴/۱ درصد می‌باشد. باید اشاره نمود که این تغییرات افت باعث کاهش فشار هیدرولیکی در گره‌های برداشت شده که این امر نیز خود بر هیدرولیک خطوط فرعی تاثیر گذار خواهد بود بطوری که در حوضچه O3 روی خط PP1-1 با فشار منفی روبرو خواهیم شد که در این صورت بهره‌برداری از خط انتقال امکان‌پذیر نمی‌باشد. در ادامه باید اشاره نمود که ایجاد تغییرات ۳/۵، ۷/۱، ۱۰/۷ و ۱۴/۲ درصدی در مقادیر ضریب زبری میزان افت هیدرولیکی به ترتیب به میزان ۳/۲، ۶/۷، ۱۰/۳ و ۱۴ درصد افزایش یافته است. در همین راستا با کاهش مقدار ضریب هیزن ویلیامز میزان افت هیدرولیکی در لوله‌های پلی‌اتیلن افزایش می‌یابد. در خطوط لوله که سرعت جریان آب نزدیک به ۱/۵ متر بر ثانیه می‌باشد حساسیت این عدم قطعیت افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج بدست آمده مقدار افزایش افت با تغییر ضریب C از ۱۳۵ به ۱۳۰ و از ۱۳۰ به ۱۲۵ و بالاخره از ۱۲۵ به ۱۲۰ به طور متوسط در تمام مسیرهای مورد بررسی حدود ۶ درصد می‌باشد. به عبارت دیگر با گذشت زمان و کهنه‌شدن لوله‌های پلی‌اتیلن فشارهای طراحی شده در گره‌های برداشت تامین نخواهد شد که برای این امر باید از ایستگاه‌های پمپاژ استفاده نمود که هزینه‌های بهره‌برداری از خط را افزایش می‌دهد. در مقایسه نتایج مربوط به لوله‌های فایبرگلاس و پلی‌اتیلن مشخص می‌شود که تاثیر ضریب زبری بر تغییرات افت در لوله‌های فایبرگلاس کمتر از پلی‌اتیلن است. همچنین نتایج مشخص نمود که سرعت جریان عامل تاثیر گذار بر تغییرات افت ناشی از تغییر ضریب هیزن ویلیامز می‌باشد.

## منابع

- احمدآبادی، ر. و اکبرزاده، م. ر. (۱۳۸۶). فرازی بر مکانیک سیالات و هیدرولیک، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد مشهد، چاپ دوم، ۳۷۲ص.
- ابوذری، م. و جعفرزاده، م. ر. (۱۳۹۱). بررسی عوامل مؤثر در حادثه‌های خط انتقال آب گیسور-گناباد. نشریه علمی و پژوهشی هیدرولیک، دوره ۷، شماره ۱، ص ۱۲-۱.
- بازرگان، ج. و طالبیان، م. (۱۳۹۲). ارزیابی تغییرات ضریب زبری لوله چدن داکتایل در اثر گذشت زمان - مطالعه موردی خط انتقال آب SW به S5. کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و توسعه پایدار شهری، ۲۶ تا ۲۷ آذر ۱۳۹۲، تبریز، ایران.
- دماوندی، م. د.، رحیم‌زاده، ح. و ریاسی، ع. (۱۳۹۲). بررسی اثر لوله پلی‌اتیلنی موضعی در سیستم انتقال آب با خط لوله فولادی بر روی پدیده ضربه قوچ. مهندسی مکانیک مدرس، دوره ۱۳، شماره ۱۰، ص ۱۲۶-۱۱۸.
- گیوه‌چی، م. و بردستانی، ص. (۱۳۹۲). تخمین ضریب اصطکاک در لوله‌ها با استفاده از سیستم تطبیقی استنتاج فازی-عصبی. آب و فاضلاب، دوره ۲۴، شماره ۲، ص ۱۱۷-۱۲۲.
- مرادی سبزوکی، ع. و حقیقی، ع. (۱۳۹۸). تحلیل اثر تنش‌های هیدرولیکی بر عملکرد شبکه‌های توزیع آب با استفاده از تحلیل فاصله و رویکرد بهینه‌سازی، مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۰، شماره ۳، ص ۱۶-۱.



**Abdel-Monim, Y.K., Ead, S.A. and Shabayek, S.A. (2005).** Effect of time on pipe roughness. *Hydrotechnical Engineering: 17<sup>th</sup> Cornerstone Of A Sustainable Environment*, August 17-19, Edmonton, Alberta, Canada, pp: 1-10.

**Babayan, A., Kapelan, Z., Savic, D. and Walters, G. (2005).** Least-cost Design of Water Distribution Networks under Demand Uncertainty. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 131 (5), pp: 375-389.

**Bargiela, A. and Hainsworth, G.D. (1989).** Pressure and Flow Uncertainty in Water system. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 115 (2), pp: 212-229.

**Bao, Y. and Mays, L.W. (1990).** Model for Water Distribution System Reliability. *Journal of Hydraulic Engineering*, 116 (9), pp: 1119-1137.

**Dini, M. and Tabesh, M. (2014).** A New Method for Simultaneous Calibration of Demand Pattern and Hazen-Williams Coefficients in Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Management*, 28, pp: 2021–2034.

**Echavez, G. (1997).** Increase in losses coefficient with age for small diameter pipes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 123 (2), pp: 157-159.

**Frank, A., Pinter, G. and Lang, R.W. (2009).** Prediction of the remaining lifetime of polyethylene pipes after up to 30 years in use. *Polymer Testing*, 28 (7), pp: 737–745.

**Genic, S., Arandelovic, I., Kolendic, P., Jaric, M., Budimir, N. and Genic, V. (2011).** A Review of Explicit Approximations of Colebrook's Equation. *FME Transactions*, 39 (2), pp: 67-71.

**Kang, D.S., Pasha, M.F.K. and Lansey, K. (2009).** Approximate methods for uncertainty analysis of water distribution systems. *Urban Water Journal*, 6 (3), pp: 233–249.

**Li, S. and Huai, W. (2016).** United Formula for the Friction Factor in the Turbulent Region of Pipe Flow. *PLOS ONE*, 11 (5), pp: 1-10.

**Revelli, R. and Ridolfi, L. (2002).** Fuzzy approach for analysis of pipe network. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128 (1), pp: 93–101.

**Sadat-Maki, H. (2014).** Reliability assessment of water distribution networks under uncertain nodal demand and pipe roughness. MSc Thesis, RMIT University, Australia.

## Analysis of hydraulic flow changes under the influence of pipe age

Vahid Yazdani<sup>1\*</sup>, Sepideh Yeke Bash<sup>2</sup>, Mazyar Bahrami<sup>3</sup>

- 1) Doctor of Water Science and Engineering, CEO of Mirab Shams Hydropy Consulting Company
- 2) Master student in Civil Engineering, Environment, Asrar University
- 3) PhD in Civil Engineering, Assistant Professor in Civil Engineering, Asrar University

\*Corresponding author: v.yazdany@yahoo.com

Received Date: 2022. 04. 10

Accepted Date: 2022. 07. 23

### Abstract

The increasing population of cities and the development of industriousness in all countries for water supply has created a twisted problem that can solve only with the help of skilled experts and technicians. This study was completed on several transmission lines, including fiberglass pipes and polyethylene with 110 to 400 mm diameters. Based on the hydraulic analysis, it was found that in the fiberglass pipe transmission line, by increasing the coefficient  $c$  from 140 to 135 and from 135 to 130, the rate of increase is equal to 3.2 and 3.5 percent. It should be noted that by creating changes of 3.5 and 7.1 percent in the roughness coefficient values, the portion of the hydraulic drop has increased by 3.2 and 6.7 percent, in pipelines where the water flow rate is close to 1.5 meters per second, the sensitivity increases. According to the results, the increase in drop by changing the coefficient  $c$  from 135 to 130 and from 130 to 125 on average in all routes is about 6%. As time goes on and the pipes get old, the designed pressures in the nodes are removed, and to solve this problem, pumping stations should be used, which increases the operating costs. The fiberglass and polyethylene pipes results displayed that the effect of roughness coefficient on drop changes in fiberglass pipes is less than in polyethylene. The results showed that the flow velocity is the aspect influencing the drop changes due to the difference in the Hayes-Williams coefficient.

**Keywords:** Hydraulic flow, Hazen-Williams coefficient, Hydraulic drop, Transmission lines.