

Research Paper

Evaluation of internal surface roughness in fiberglass pipes by surface roughness instruments

Farnoush Aghaee Daneshvar^{1*}, Nasser Talebbeydokhti², Seyed Mehdi Dehghan³, Seyed Mohammad Mehdi Elhamian⁴

1. Assistant Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran

2. Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Head of Environmental Research and Sustainable Development Center, Shiraz University, Shiraz, Iran

3. Associate Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran

4. Faratec N.P. Technology Center, Farassan Industrial Group, Shiraz, Iran

Received: 2023/02/03

Revised: 2023/02/05

Accepted: 2023/04/14

Use your device to scan and read the article online



DOI:

[10.30495/wej.2024.31547.2377](https://doi.org/10.30495/wej.2024.31547.2377)

Keywords:

Surface roughness measuring devices, glass reinforced plastic pipe (GRP), roughness parameters, sandpaper, U-PVC pipe

Abstract

Introduction: Investigation of the internal surface roughness of fluid transmission systems pipes is very important in the amount of energy loss. Different concepts and methods have been used to examine surface roughness. Some of these methods are based on roughness measurement devices and equipment in this field. Significant researches are done in surface roughness measuring in steel, copper, plastic, or coated pipes.

Methods: In this study, the inner surface roughness of fiberglass pipes, has been evaluated using laboratory methods and roughness measuring devices in several diameters and two different types. Calibration and verification results of the surface roughness tester machine on sandpaper and U-PVC pipe wall surfaces are evaluated. In addition, the effect of roughness parameters and their calculated surface roughness and time using of fiberglass pipe have been investigated.

Findings: According to the results, the roughness parameters R_z and R_a in the cut length of 0.8 and 2.5 respectively are suitable parameters to estimate the roughness of the inner surface of the fiberglass tube. Also, the roughness of the inner surface of biaxial tubes is lower than uniaxial tubes. In addition, in comparing the roughness of newly produced and old fiberglass pipes, the surface roughness parameters decrease due to the passage of time and the use in projects. Whereas, the roughness parameters related to the type of pipe have not changed.

Conclusion: Based on the results of the SurfTest SJ-210 device has best results with accuracy of the roughness height reported for fiberglass pipes is equal to 98.84%. In U-PVC, similar to fiberglass pipe, the average roughness values has been estimated with high accuracy using the R_a with a cutting length of 2.5.

Citation: Aghaee Daneshvar F, Talebbeydokhti N, Dehghan SM, Elhamian SMM. Evaluation of internal surface roughness in fiberglass pipes by surface roughness instruments. Water Resources Engineering Journal. 2024; 17 (60): 88- 107.

*Corresponding author: Farnoush Aghaee Daneshvar

Address: Dept. of Civil and Environmental Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran.

Tell: +989177389499

Email: fdaneshvar@sutech.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

The evaluation of surface roughness is challenging due to its many complexities. A comprehensive definition of surface roughness entails not only measuring the height of roughness, but also considering factors such as distance, various surface designs, materials, and manufacturing methods, all of which contribute to variations in surface roughness. Fiberglass pipes, for instance, are known for their smooth inner surfaces, which offer advantages such as reduced energy loss and resistance to flow. In the past, the roughness of pipe surfaces and the resulting friction loss were determined through hydraulic tests, as there were no profilometric tools available to measure the inner surface roughness of pipes. However, advancements in engineering equipment have led to the use of various tools and methods for measuring surface and pipe wall roughness. The roughness of different types of pipes with modern inner coatings was measured using the Surface Profilometer and Roughness Tester. Additionally, a precise evaluation of the internal surface roughness was achieved by atomic force microscope (AFM) 3D digital images of the surface of a small sample of the pipe with different internal coatings.

Materials and Methods

In this research, we investigate and study the roughness of the inner surface of the Fiberglass Glass Reinforced Plastic (GRP) pipes of varying diameters using a profilometric tool. To accurately assess the inner surface roughness of fiberglass pipes, a portable surface roughness tester was utilized to verify the accuracy of this device, the surface roughness of a reference piece and a piece of No. 400 sandpaper was measured using this device. Roughness tests were conducted on fiberglass pipes, and roughness and profilometry were measured using a surface roughness tester (Surf test SJ-210). Samples, 30 cm in length, were taken from the walls of fiberglass pipes with diameters of 20, 40, 150, 200, 300, 600, 800, and 1000 mm in uniaxial type. Additionally,

samples with diameters of 200 and 800 mm were prepared in the biaxial type.

Findings

Surface roughness profiles were generated for each cutoff length across all diameters, and roughness parameters were subsequently calculated. The average absolute roughness (ϵ) values were then estimated from these parameters. The Rz parameters, with a cutting length of 0.8, demonstrated relative accuracies of 98.84% and 88.2% for all fiberglass and uniaxial tubes, effectively estimating the average roughness of the fiberglass tube. The minimum calculated error and the most accurate roughness of the inner surface of fiberglass tubes with diameters less than 150 mm were associated with the Ra roughness parameter at a cut length of 2.5, while for larger diameters, it was more closely related to the Ra_{esg} and Rt parameters at a cut length of 0.8. Overall, the results indicate that, across all cut lengths, the Ra roughness parameter exhibited the least error in measuring the roughness of the inner surface of the fiberglass pipes.

Discussion

In the comparison of the measured roughness values between bi-axial and uniaxial pipes, it was observed that the average roughness value of the inner surface in uniaxial pipes is higher than that of bi-axial pipes for both 200- and 800-mm diameters. This higher roughness is attributed to the greater resistance of the materials used in their construction and the presence of sand in the wall of the uni-axial pipes. Additionally, when comparing the roughness of new and old fiberglass pipes with a diameter of 1000 mm and different lengths, it was found that the roughness of the old pipe is slightly less than that of the new pipe. This reduction in roughness is due to erosion and the natural smoothing of the pipe surface over time. Consequently, the roughness of the pipes decreases with use. It is worth noting that the roughness coefficient increases in the transmission network due to sedimentation. To validate the performance of the roughness testing device, a sample of U-PVC pipe with a

diameter of 120 mm and a length of 30 cm was prepared, and the roughness of its inner surface was measured. The results indicate that the average absolute roughness of the inner surface of the U-PVC pipe, with a cutting length of 2.5, closely matches the reported roughness value of 1.5 microns for a PVC pipe, demonstrating 97.46% calculation accuracy as per available sources.

Conclusion

In this study, we examined the inner surface roughness of fiberglass pipes using a roughness tester and evaluated it using various roughness parameters. We also investigated the impact of each roughness parameter on estimating the surface roughness. Our experimental results indicate that the roughness parameter R_z and R_a with a cutoff length of 0.8 and 2.5 is generally suitable for estimating the inner surface roughness of fiberglass pipes, respectively. Additionally, our measurements revealed that the inner surface roughness of biaxial pipes is generally lower than that of uniaxial pipes. Comparing newly manufactured pipes with old pipes removed from the Sangar water supply transmission line, we found that the surface roughness parameters, based on the difference between the maximum and minimum roughness of the inner surface pipes, are influenced by the pipe manufacturing process. Over time and with use in projects, these parameters decrease due to the erosion of the maximum roughness of the pipe's inner surface. However, the roughness parameters that primarily indicate the average roughness of the pipe surface, and are related to the type of pipe, remain relatively unchanged in old and new pipes, suggesting that the average roughness of the fiberglass pipe surface remains constant over time and use in transmission lines.

Our measurements of the U-PVC pipe also demonstrated the accuracy of the roughness testing device in estimating the inner surface roughness of the pipe. The roughness parameter R_a , with a cutting length of 2.5, in

the U-PVC pipe, is similar to that of the fiberglass pipe and accurately estimates the average roughness value of this type of pipe. According to the results obtained from the SurfTest SJ-210 device, it provides better results than other tools in estimating the roughness of the inner surface of fiberglass pipes. Its calculation accuracy, compared to the reported roughness height for fiberglass pipes, is equal to 98.84%.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Farnoush Aghaee Daneshvar, Nasser Talebbeydokhti, Seyed Mehdi Dehghan.

Methodology and data analysis: Farnoush Aghaee Daneshvar, Seyed Mehdi Dehghan, Seyed Mohammad Mehdi Elhamian.

Supervision and final writing: Farnoush Aghaee Daneshvar, Seyed Mehdi Dehghan.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

ارزیابی زبری سطح داخلی انواع لوله‌های فایبرگلاس با دستگاه اندازه‌گیری زبری سطح

فرنوش آقایی دانشور^{۱*}، ناصر طالب بیدختی^۲، سید مهدی دهقان^۳، سید محمد مهدی الهامیان^۴

۱. استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

۲. استاد گروه مهندسی عمران و محیط زیست، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز و رئیس مرکز توسعه پایدار دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۳. دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

۴. مرکز تکنولوژی فراتک مجموعه تولیدی و صنعتی فراسان، شیراز، ایران

چکیده

مقدمه: بررسی زبری سطح داخلی لوله‌های انتقال سیالات دارای اهمیت بسزایی در میزان افت انرژی سیستم‌های انتقال دارد. مفاهیم و روش‌های مختلفی در بررسی زبری‌های سطوح بکار گرفته شده است. برخی از این روش‌ها بر پایه زبری‌سنجی و استفاده از دستگاه‌ها و تجهیزات موجود در این زمینه استوار می‌باشد. از این رو، زبری جنس جداره لوله‌ها و مقاومت جریان در برابر جداره لوله و رسوبگذاری در گذر زمان در خطوط لوله به روش‌های مختلف مطالعه و بررسی می‌گردد. عمده تحقیقات صورت گرفته در این زمینه شامل زبری‌سنجی سطوح در لوله‌های از جنس فولاد، مس و یا لوله‌های پلاستیکی و یا روکش دار بوده است.

روش: در این مطالعه زبری سطح داخلی لوله‌های فایبرگلاس، که کمتر مورد بررسی قرار گرفته، با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی و دستگاه‌های زبری‌سنجی ارزیابی شده است. نتایج کالیبراسیون و صحت‌سنجی دستگاه زبری‌سنجی سطح بر روی سطوح کاغذ سمباده و جداره لوله پولیکا ارزیابی شده است. همچنین، نتایج زبری سطح داخلی لوله‌های فایبرگلاس در چندین قطر و دو نوع جنس مختلف لوله ارائه شده است. علاوه بر این، اثر پارامترهای زبری، زبری سطح محاسبه شده با استفاده از آن‌ها و همچنین اثر زمان و بکارگیری لوله فایبرگلاس در خطوط انتقال آب نیز بررسی شده است.

یافته‌ها: در این تحقیق به اندازه‌گیری زبری سطح داخلی لوله‌های فایبرگلاس با استفاده از دستگاه تست کننده زبری و برآورد پارامترهای مختلف زبری پرداخته شد و تاثیر هریک از این پارامترهای زبری را در برآورد مقدار زبری سطح بررسی گردید. بر اساس نتایج آزمایشات این تحقیق، پارامترهای زبری Ra و Rz به ترتیب در طول برش $0/8$ و $2/5$ ، پارامترهای مناسبی جهت برآورد زبری سطح داخلی لوله فایبرگلاس می‌باشند. همچنین زبری سطح داخلی لوله‌های دو محوری بطور متوسط کمتر از لوله‌های تک محوری می‌باشد. علاوه بر این، در مقایسه زبری لوله‌های فایبرگلاس تازه تولید شده و قدیمی، پارامترهای زبری سطح در اثر گذر زمان و بکارگیری لوله فایبرگلاس در پروژه‌ها، به سبب فرسایش کاهش می‌یابند که این ناشی از حداکثرهای زبری‌های ناگهانی سطح داخلی لوله می‌باشد. در حالی که، پارامترهای زبری مرتبط با جنس لوله، در لوله‌های قدیمی و نو تغییر چندانی نداشته که نشانگر ثابت ماندن زبری متوسط سطح لوله‌های فایبرگلاس در گذر زمان می‌باشد.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج دستگاه SurfTest SJ-210 در برآورد زبری سطح داخلی لوله‌های فایبرگلاس نتایج بهتری نسبت به سایر ابزارها دارد و دقت محاسباتی نسبت به مقدار ارتفاع زبری گزارش شده برای لوله‌های فایبرگلاس برابر با $98/84$ درصد می‌باشد. در لوله پولیکا (U-PVC) نیز مشابه با لوله فایبرگلاس مقدار زبری متوسط این نوع لوله را با دقت بالایی با استفاده از پارامتر زبری Ra با طول برش $2/5$ برآورد نموده است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۴

تاریخ داوری: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۵

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

[10.30495/wej.2024.31547.2377](https://doi.org/10.30495/wej.2024.31547.2377)

واژه‌های کلیدی:

دستگاه‌های زبری‌سنجی سطح، لوله پلاستیکی تقویت شده با شیشه (GRP)، پارامترهای زبری، کاغذ سمباده، لوله پولیکا

* نویسنده مسئول: فرنوش آقایی دانشور

نشانی: گروه آب و سازه هیدرولیکی، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران.

تلفن: ۰۹۱۷۷۳۸۹۴۹۹

پست الکترونیکی: fdaneshvar90@gmail.com

مقدمه

یکی از معمولی‌ترین و مهمترین مسائل در مکانیک انتقال سیالات، تخمین میزان افت انرژی و فشار در سیستم‌های لوله‌کشی می‌باشد که تاثیر بسزایی در تعیین اجزاء و سیستم‌های پمپاژ و قدرت و توان آنها دارد. کاهش انرژی و افت فشار سیالات در سیستم‌های لوله‌کشی به جهت تغییر ارتفاع سیستم، وجود زبری جدار لوله‌ها و همچنین جریان‌های داخلی و متلاطم که به واسطه تغییرات ناگهانی مسیر، قطر، سطح مقطع لوله‌ها و استفاده از سایر اجزا شامل شیرها و زانویی‌ها و ... به وقوع می‌پیوندد. بررسی و ارزیابی هر کدام از این عوامل به روش‌های مختلف تجربی و محاسباتی می‌تواند تاثیر بسزایی در کنترل افت فشار شبکه‌های لوله‌کشی و صرفه جویی در مقدار انرژی لازم در سیستم‌های پمپاژ داشته باشد. یکی از این عواملی که افت اصطکاکی در شبکه لوله‌کشی را ایجاد می‌کند می‌تواند به واسطه مقاومت تماسی حاصل از زبری جدار لوله در برابر جریان ایجاد شود. بنابراین زبری جدار داخلی لوله عامل مهمی در افت اصطکاکی جریان در لوله است که بسته به جنس، فورم ساخت، قطر و عمر لوله می‌تواند تاثیر متفاوتی داشته باشد. به علت وجود پیچیدگی‌های بسیار در زبری سطوح، ارزیابی کمی آنها مشکل است، علاوه براینکه یک تعریف کامل از زبری سطوح نه تنها نیاز دارد که ارتفاع زبری‌ها را محاسبه کند بلکه، باید فاصله و طرح‌های مختلف زبری‌های سطوح را نیز در نظر بگیرد. جنس و شیوه ساخت لوله‌های مختلف سبب می‌شود که ارتفاع زبری سطوح متفاوت باشند. بر اساس مطالعات منابع مهندسی در مقدار ارتفاع استاندارد زبری (ε)، لوله‌ها به دو دسته لوله‌های صاف^۱ و زبر^۲ تقسیم تقسیم می‌شوند. لوله‌های فایبرگلاس دارای محیط و سطح داخلی صاف می‌باشند که از مزایای این نوع لوله‌ها است و منجر به کاهش افت انرژی و کاهش مقاومت در برابر جریان در این نوع لوله‌ها می‌شود. همچنین، این مشخصه لوله‌های فایبرگلاس منجر به کاهش توان مورد نیاز سیستم پمپ‌های بکار رفته در خطوط انتقال این نوع لوله‌ها می‌گردد که تاثیر بسزایی در صرفه جویی و کاهش هزینه‌ها دارد. سطوح داخلی این لوله‌ها معمولاً در برابر عبور بیشتر سیالات در طول زمان صاف باقی می‌ماند. سطح صاف داخلی این نوع لوله‌ها سبب می‌شود که برای انتقال جریانی با ظرفیت معین قطر لوله کمتری نسبت به سایر لوله‌ها مورد نیاز باشد (۱).

در سالهای گذشته ابزار پروفیلومتری برای اندازه‌گیری زبری سطح داخلی لوله وجود نداشت و زبری لوله‌ها و افت اصطکاکی از طریق آزمایش‌های هیدرولیکی محاسبه می‌شد. نیکورادزه (۲) با در نظر گرفتن زبری مصنوعی از طریق چسباندن دانه‌های یکنواخت شن و ماسه با قطر معین در سطح داخلی لوله‌های زبری نسبتی (ε/d) را معادل قطر دانه‌ها به قطر لوله جریان تعریف کرد و با استفاده از لوله‌های مختلف و قطرهای متفاوت ذرات شن و ماسه، آزمایشاتی را برای تعیین زبری‌های نسبتی مختلف طراحی نمود. مودی (۳) همبستگی زبری نسبتی و ضریب اصطکاکی را در نموداری برای جنس لوله‌ها و شرایط جریان مختلف بر اساس نتایج زبری مصنوعی دانه‌های شن تهیه نمود. کلبوک (۴) هم

بر اساس آزمایش‌های بسیار بر لوله‌های تجاری رابطه ضریب افت اصطکاکی با توجه به مقدار زبری نسبتی لوله‌ها را ارائه نمود. لوله‌ها معمولاً بر اساس ارتفاع زبری‌های سطح جدار داخلی لوله (ε) در دو نوع لوله صاف و زبر وابسته به جنس و نحوه ساخت لوله موجود می‌باشند. علاوه بر این ماهیت جریان هم در میزان تاثیر زبری جدار در مقاومت جریان موثر است. زیر لایه لزوج^۳ (δs) یک لایه لزوج ورقه‌ای است که در نزدیکی دیواره لوله به علت شرط مرزی بدون لغزش دیواره و کاهش سرعت جریان در نزدیک جدار و حاکم شدن جریان ورقه‌ای تشکیل می‌شود و ضخامت آن با کاهش عدد رینولدز افزایش می‌یابد. نتایج آزمایش‌ها نشان داده است که زبری موثر (ε) اثری در جریان آرام یا ورقه‌ای ندارد و در واقع لوله از لحاظ هیدرولیکی صاف است و جریان بر روی زیر لایه ورقه‌ای حرکت می‌کند. اما در جریان متلاطم و زمانی که ارتفاع زبری‌های جدار بیشتر از ضخامت زیر لایه لزوج یا ورقه‌ای باشد، لوله زبر در نظر گرفته می‌شود و زبری‌های جدار در جریان اصلی در مقطع لوله تاثیر خواهند داشت (۵، ۶). با افزایش عدد رینولدز ضخامت زیر لایه ورقه‌ای کاهش یافته و زبری‌های جدار پارامتر مهمی در مقاومت جریان خواهد بود و نقش غالب را در رژیم متلاطم زبر تکامل یافته، ایفا می‌کند و متناسب با توان دوم سرعت جریان است (۷). مطالعه اثر زبری جدار در نیروی اصطکاکی و افت فشار در جریان آرام و متلاطم (۸-۱۰) اهمیت و نیاز به کنترل و ارزیابی مورفولوژی سطح جدار لوله در عملکرد سیستم‌های سیالاتی را نشان می‌دهد (۱۱).

با پیشرفت تجهیزات مهندسی ابزارهای مختلف و روشهای گوناگونی برای اندازه‌گیری زبری‌های جدار سطوح و لوله بکار رفته است. فرشاد و همکاران (۱۲، ۱۳) و فرشاد و پساکرتا (۱۴) با استفاده از دو ابزار پروفایل متری سطح 3D Dektak^۳ و تست کننده زبری سطح Hommel^۵T1000 ناهمواری و زبری سطح داخلی انواع مختلف لوله‌های با پوشش داخلی مدرن را اندازه‌گیری کردند (۱۵). همچنین با استفاده از ابزار میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) بعد ۳۰۰۰^۶ تصویر دیجیتالی دقیق سه بعدی از سطح نمونه کوچک لوله با پوشش‌های مختلف داخلی تهیه و زبری سطح داخلی لوله با این ابزار که جز زیرمجموعه میکروسکوپ پروب اسکن می‌باشد ارزیابی شده است. بر اساس نتایج مطالعه آنها تهیه تصویر دیجیتالی با AFM، و زبری برآورد شده از آن برای آنالیزهای شیمیایی سطح بیشتر مناسب هستند. در سال‌های اخیر، اثر زبری سطح داخلی بر افت فشار به صورت عددی توسط نرم‌افزارهای CFD، ANSYS/Fluent در لوله‌های با قطر کوچک (۱۶) و در جریان کانال آرام (۱۷) مدل‌سازی شده است. همچنین روشها و تجهیزات جدیدی جهت اندازه‌گیری زبری سطح و مشخصات آن ارائه شده است (۱۸-۲۰). نتایج حاصل از ابزارهای پروفیل متری سطح برای ارزیابی ناهمواری‌ها و زبری‌های سطح که در جریان متلاطم موثرند، کاربرد دارد. در تحقیقات زبری سنجی فرشاد و همکاران (۱۲، ۲۱) ارزیابی‌های عددی و تحلیل‌های آماری نیز بر روی نتایج زبری

۴ - Dektak 3ST Surface Profilometer

۵ - Roughness Tester HOMMEL

۶ - Dimension 3000 atomic force microscope (AFM)

۱ - Smooth

۲ - Rough

۳ - Viscous sublayer

موج‌دار بودن و فورم در یک سطح زیر را نشان می‌دهد. هر یک از این سه مولفه پهنای باند طول موج مشخصی را دارا می‌باشند و دو طول برش یکی برای پایین و یکی برای بالای باند هر یک از آنها مورد نیاز است. بنابراین طول برش (λc) برای طول موج بالاگذر و (λs) پایین‌گذر باند زبری را معین می‌کنند و بر طبق استانداردهای ASME B46.1 (۲۷)، DIN EN ISO 4287 (۲۸)، و DIN EN ISO 4287 (۲۹) و DIN 4768/1 (۳۰) مقادیر این طول برش‌ها و طول نمونه‌گیری تعیین می‌شود. پروفیلی که بعد از اعمال فیلتر پایین‌گذر در مقادیر اندازه‌گیری شده با استفاده از طول برش طول موج (λs) حاصل می‌شود پروفیل اولیه نامیده می‌شود که معمولاً با پارامتر P شناخته می‌شود (شکل ۱). پروفیلی که از فیلتر شدن پایین‌گذر پروفیل اولیه با طول موج برش λc حاصل می‌شود (شکل ۱) که به دنبال آن فیلتر بالاگذر با طول موج برش λf در آن اعمال می‌شود پروفیل موج‌دار نامیده می‌شود که در حقیقت از کاربرد متوالی و توأمان فیلتر با طول موج برش λf و λc در پروفیل اولیه حاصل می‌شود و با پارامتر W تعیین می‌شوند. پروفیلی که پس از فیلتر شدن طول موج بالاگذر از پروفیل اولیه با طول موج برش λc حاصل می‌شود پروفیل زبری است که معمولاً با پارامتر R معرفی می‌شود و در طول ارزیابی ln که معمولاً شامل پنج طول نمونه lr می‌باشد، ارزیابی می‌شود (شکل ۱). طول نمونه‌برداری با طول برش λc از فیلتر مشخصات مطابقت دارد.

پارامترهای زبری

در تحقیقات صورت گرفته تعیین و اندازه‌گیری زبری‌های جدار سطوح و لوله مورد توجه محققین و مهندسين بوده است. برای ارزیابی اثر زبری بر طبق استاندارد DIN EN ISO 4287 (۲۹) پارامترهای زبری شامل زبری میانگین حسابی^{۱۵} (Ra)، عمق متوسط زبری^{۱۶} (Rz)، حداکثر زبری^{۱۷} (Rt)، میانگین مربعات زبری^{۱۸} (Rq) و بخش مادی پروفیل^{۱۹} زبری سطح ($Rmr(c)$) در نظر گرفته شده است. میانگین حسابی که از متوسط مجموع کل قدر مطلق مقادیر انحرافات پروفایل ارزیابی شده زبری سطح (Zi) از خط میانگین و n تعداد داده‌های زبری است (شکل ۲) که از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Zi| \quad (1)$$

سنجی انجام شده است. فرشاد و همکاران (۱۳)، تست اندازه‌گیری ضریب افت اصطکاک لوله‌های مختلف در سیستم جریان گاز نیتروژن خشک را در موسسه تحقیقاتی SWRI^۷، را انجام داده‌اند. از مطالعات آماری بر روی نتایج زبری-سنجی پارامتر Rz تطابق بهتری را با نتایج حاصل از تست جریان نشان داده است. همچنین، فرشاد و همکاران (۲۱)، بر اساس مطالعاتشان یک نمودار درباره زبری نسبی در مقابل قطر چند نوع از لوله‌های با پوشش داخلی مدرن و جدولی برای زبری مطلق این لوله‌ها ارائه نمودند. روابط مختلفی برای هر یک از انواع لوله‌ها بین قطر لوله و زبری نسبی بر اساس متوسط برداشتهای زبری-سنجی نمونه‌ها از گرافهای ترسیم شده بدست آوردند. همچنین در این مطالعه مقدار زبری مطلق لوله‌های با روکش داخلی فایبرگلاس ۳۸ میکرون بدست آورده شده است. قنبری و همکاران نیز رابطه جدیدی برای ضریب اصطکاک بر اساس مطالعات خود در لوله‌های با پوشش مدرن در مهندسی شیمی و نفت ارائه نمودند.

در این تحقیق به بررسی و مطالعه زبری سطح داخلی لوله‌های فایبرگلاس^۸ AWWA^۹، 1999، پلاستیک تقویت شده شیشه^{۱۰} تولیدی در شرکت تولیدی و صنعتی فراسان که با تکنولوژی جدید و فناوری برتر تولید شده‌اند، می‌پردازیم. در طول این مطالعه تلاش می‌شود که با زبری سنجی و اندازه‌گیری زبری سطح داخلی لوله‌های فایبرگلاس با ابزار پروفیلومتری مقادیر زبری سطح داخلی لوله‌های فایبرگلاس را در قطرهای مختلف تعیین و مورد مقایسه و بررسی قرار دهیم. هدف از این مطالعه صحت-سنجی و ارزیابی دقیق‌تر زبری سطوح داخلی لوله فایبرگلاس و مقایسه با سایر سطوح می‌باشد. همچنین، در این مقاله روابط تئوری و تجربی در پارامترهای مختلف زبری را مورد بررسی قرار می‌دهیم. علاوه بر این تاثیر انواع روش ساخت لوله‌های فایبرگلاس در دو نوع پیوسته و ناپیوسته و اثر عمر لوله و کاربرد آن در خطوط لوله فایبرگلاس را بر روی زبری سطح داخلی ارزیابی می‌نماییم.

مواد و روش‌ها

تئوری زبری سطح

هر سطح دارای نوعی بافت است که به شکل مجموعه‌ای از قله‌ها و دره‌هاست که از نظر ارتفاع و فاصله متفاوت بوده که نتیجه روش تولید آن سطح است. سه جز اصلی بافت هر سطح شامل زبری^{۱۱}، موج‌دار^{۱۲} و فورم^{۱۳} است که زبری سطح ناشی از جنس ماده و شیوه ساخت ایجاد می‌شود. موج‌دار بودن سطح در حقیقت یک انحنای کلی است که به نظر می‌رسد بر روی زبری اعمال شده است و فورم یک انحراف در مقیاس بزرگتر است (۲۳-۲۶). شکل ۱ تفاوت و تفکیک بین زبری،

۱۴ - Arithmetic average roughness

۱۵ - Arithmetic average roughness

۱۶ - Mean roughness depth (Mean peak-to-valley height)

۱۷ - Total height of the roughness profile (Maximum roughness)

۱۸ - Mean square of roughness

۱۹ - Material portion of profile

۷ - South West Research Inst

۸ - Fiberglass Reinforced Plastic (FRP)

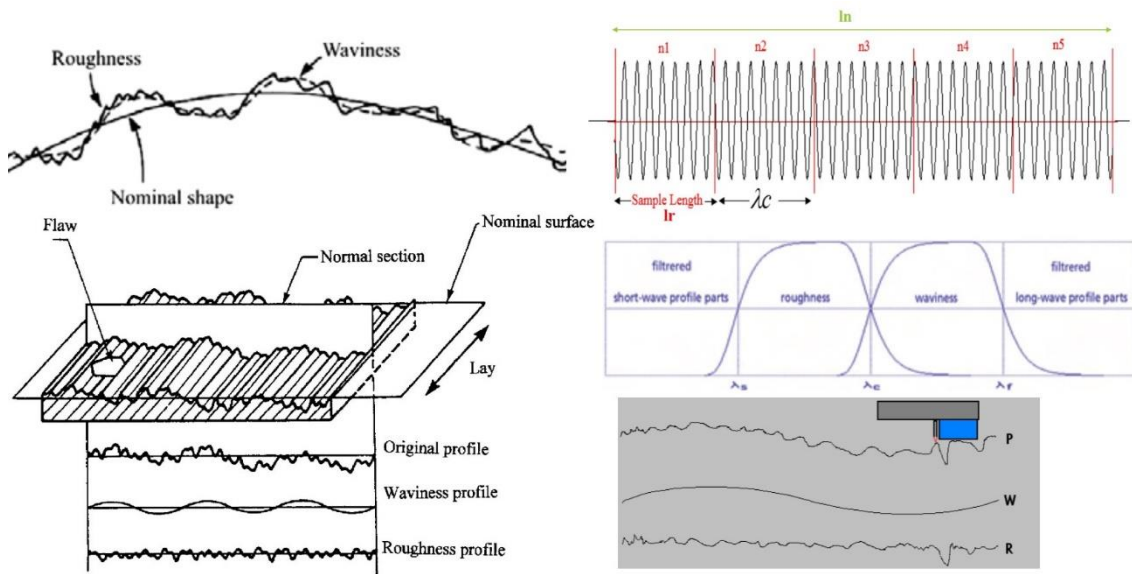
۹ - American Water Works Association

۱۰ - Glass Reinforced Plastic (GRP)

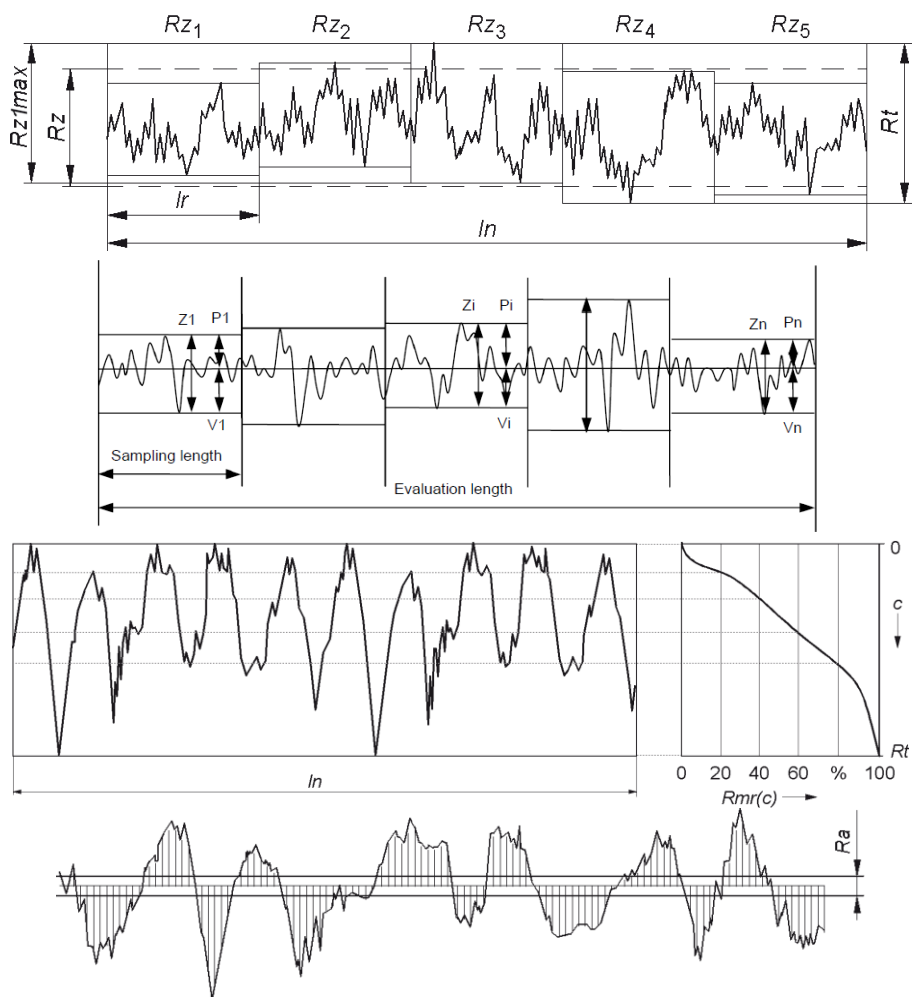
۱۱ - Roughness

۱۲ - Waviness

۱۳ - Form

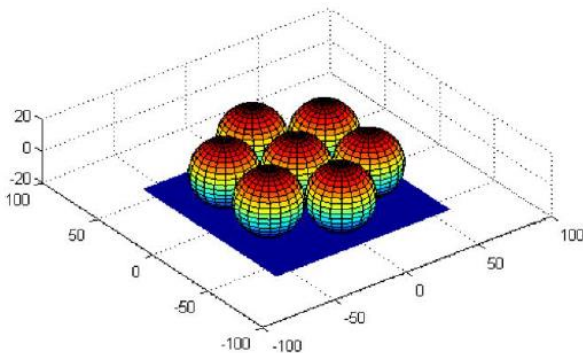
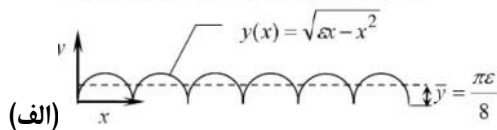
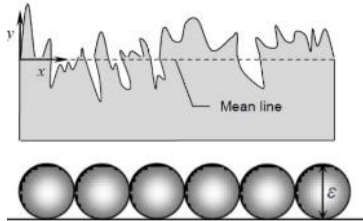


شکل ۱- استخراج پروفیل زبری از پروفیل اولیه و موج دار (۲۴، ۲۵، ۲۷) و تعیین طول نمونه برداری و طول ارزیابی از پروفیل زبری بر اساس طول برش



شکل ۲- پارامتر زبری میانگین حسابی (Ra)، عمق متوسط زبری (Rz)، حداکثر زبری (Rt) و بخش مادی پروفیل زبری سطح ($Rmr(c)$) (۳۲)

(۲) دارد لذا ضریب تصحیحی برای استفاده از دیاگرام مودی نیاز نمی- باشد (۳۶).



(ب)

شکل ۳- (الف) مدلسازی زبری سطح با دانه‌های یکنواخت شن و ماسه برای برآورد پارامترهای زبری میانگین حسابی زبری دانه شن و ماسه ($Rasg$)، (ب) مدلسازی کره‌های بسته بندی شده شش گوشه ایجاد شده در متلب برای برآورد پارامتر میانگین حسابی زبری برآورد شده دانه شن و ماسه ($Raesg$) (۳۳)

اندازه‌گیری زبری سطح

روشهای مختلفی برای اندازه‌گیری زبری‌های جدار سطوح و لوله بکار رفته است که شامل دو روش کلی پروفیلی و سطحی می‌باشند. در روش پروفیلی زبری بصورت خطی با استفاده از پروب^{۲۲} اندازه‌گیری می‌شود در حالی که در روش سطحی برداشت داده‌ها بصورت سه بعدی و با روش‌های مشاهدات نوری می‌باشد. ابزارهای اندازه‌گیری زبری سطح بر اساس اینکه با سطح در تماس هستند یا نه، به دو گروه اصلی اندازه‌گیری با تماس^{۲۳} و اندازه‌گیری بدون تماس^{۲۴} تقسیم می‌شوند. دقت در برداشت داده زبری سطح در روش تماسی با توجه به شعاع قلم

مقدار میانگین مربعات زبری در واقع ریشه مربع مقادیر انحراف (Zi) از خط میانگین پروفایل زبری می‌باشد که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود. Rq نسبت به Ra بیشتر به مقادیر حداکثر و حداقل پروفیل زبری حساس می‌باشد.

$$Rq = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Zi|^2 \right)^{1/2} \quad (۲)$$

Zi مجموع Pi و Vi در هر یک از ۵ قسمت طول نمونه lri در شکل ۲ می‌باشد که از میانگین‌گیری مقادیر Zi مقدار عمق متوسط زبری (Rz) محاسبه می‌شود.

$$Rz = \frac{Rz_1 + Rz_2 + Rz_3 + Rz_4 + Rz_5}{5} \quad (۳)$$

ارتفاع کل پروفیل زبری یا حداکثر زبری (Rt)، مجموع فاصله از خط متوسط تا حداکثر ارتفاع یا بلندترین قله پروفیل زبری و فاصله از خط متوسط تا حداقل ارتفاع یا پست‌ترین دره پروفیل زبری در کل طول ارزیابی ln می‌باشد. در شکل ۲ مقدار ارتفاع کل زبری (Rt) نشان داده شده است. در این مطالعه مقدار ارتفاع کل زبری حداکثر ($Rtmax$)، که معادل حداکثر مقادیر Rt در کل پروفیل برداشتی از سطح می‌باشد، نیز برای ارزیابی زبری سطح استفاده شده است.

پارامتر میانگین حسابی زبری دانه شن و ماسه^{۲۰} ($Rasg$) توسط آدام و گرنٹ (۳۳) برای برآورد زبری معادل دانه‌های یکنواخت شن و ماسه با قطر معین ارائه شده است. نیکورادزه زبری مصنوعی معادل با زبری دانه‌های یکنواخت شن و ماسه با قطر معین را برای سطح داخلی لوله در آزمایشگاه در نظر گرفت. آدام و گرنٹ (۳۳) با مدلسازی زبری سطح مطابق با دانه‌های شن و ماسه یکنواخت (شکل ۳) و با استفاده از رابطه ریاضی معادل با دانه‌های شن و ماسه یکنواخت رابطه ۴ را برای ارتفاع زبری سطح (ϵ)، متناسب با زبری میانگین حسابی (Ra) که از پروفیلومتری سطح حاصل می‌شود، ارائه کرده است. آدام و گرنٹ (۳۳)، با استفاده از نرم افزار متلب زبری سطح را با کره‌های بسته بندی شده شش گوشه مدلسازی کرده (شکل ۳) و میانگین حسابی زبری برآورد شده دانه شن و ماسه^{۲۱} را از رابطه ۵، محاسبه کرده‌اند. در مطالعه حاضر پارامترهای زبری میانگین حسابی زبری دانه ماسه ($Rasg$) و میانگین حسابی زبری برآورد شده دانه شن و ماسه ($Raesg$) نامیده شده است و محاسبه و ارزیابی شده است.

$$Rasg = \epsilon = 11.03Ra \quad (۴)$$

$$Raesg = \epsilon = 5.863Ra \quad (۵)$$

کاندلیکار و همکاران (۳۴) پارامترهایی را بر اساس مشخصات مختلف زبری ارزیابی کردند و یک گروه از سه پارامتر Rp متوسط حداکثر ارتفاعات اوج پروفیل، RSm متوسط فواصل نامنظمی‌های پروفیل و Fp فاصله کف از خط متوسط (Ra) ارائه کرده‌اند که مقدار زبری (ϵ)، از جمع دو مقدار Rp و Fp بدست می‌آید. این تعریف مقدار مشابهی با مقدار زبری بدست آمده از دانه شن در آزمایش‌های دارسی (۳۵) و نیکورادزه

22 - Probe

23 - Contact-Based Measurement

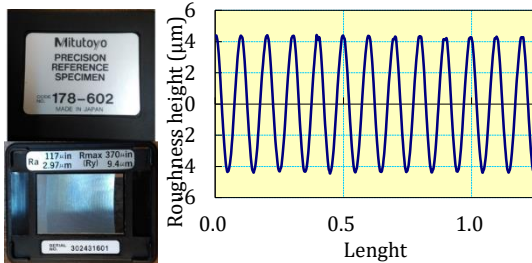
24 - Non-Contact-Based Measurement

20 - Sand-grain roughness arithmetic average

۲۱ - Estimated sand-grain roughness arithmetic average



Evaluation Profile



شکل ۴- نمونه دستگاه تست‌کننده قابل حمل زبری سطح SurfTest SJ-210، قطعه شاهد و پروفیل زبری سطح آن جهت صحت‌سنجی.

برای اطمینان از صحت‌سنجی این دستگاه در برداشت زبری سطح یک قطعه از کاغذ سمباده شماره ۴۰۰ توسط این دستگاه، زبری‌سنجی شد (شکل ۵) و یکی از نمونه پروفیل‌های ترسیم شده از زبری سطح کاغذ سمباده به وسیله دستگاه در شکل ۵ نشان داده شده است. پروفیل کاغذ سمباده به واسطه تراکم تقریباً یکنواخت زبری‌های روی سطح شکل تقریباً مشابهی دارد که با فرم خاصی تکرار می‌شود. با ۶ بار اندازه‌گیری از این نمونه کاغذ سمباده مقدار میانگین پارامترهای زبری سطح با مقدار طول برش ۰/۲۵ میلی‌متر برآورده شد. مقدار میانگین زبری متوسط Ra کاغذ سمباده ۵/۱۳ میکرون و مقدار میانگین ارتفاع زبری دانه‌های کاغذ سمباده Rt ۳۴/۴۹ تقریباً ۳۵ میکرون محاسبه شده است. از نتایج تحقیقات صورت گرفته روی ۴ نوع مختلف کاغذ سمباده توسط شین و همکاران در سال ۲۰۰۸ (۴۰)، مقدار ارتفاع متوسط زبری کاغذ سمباده ۴۰۰ برابر با $2/55 \pm 35/24$ (۳۲/۶۹ - ۳۷/۷۹) میکرون می‌باشد که مقدار میانگین ارتفاع زبری (Rt) اندازه‌گیری شده کاغذ سمباده ۴۰۰ دستگاه تست‌کننده زبری

بین ۲ تا ۱۰ میکرون و در روش بدون تماس لیزری (میکروسکوپ لیزری) با توجه به شعاع نقطه لیزری به اندازه ۰/۲ میکرون کمتر می‌باشد (۳۷). ابزارهای مختلفی با دقت‌های مختلف با روش پروفیلومتری همچون پروفیلومتر^{۲۵}، دستگاه اندازه‌گیری پروفیل سطح^{۲۶} (SPG) (پروفیل‌متر)، PosiTector^{۲۷}، وسیله اندازه‌گیری دیجیتالی پروفیل سطح^{۲۸}، پروفیل‌متر سطح Dektak³ST، پروفیلومتر تست‌کننده زبری^{۲۹} (PCE-RT)، تست‌کننده زبری سطح Hommel و تست‌کننده قابل حمل زبری سطح^{۳۰} (SurfTest) جهت ارزیابی زبری سطوح ساخته شده است.

دستگاه تست‌کننده قابل حمل زبری سطح (SurfTest SJ-210) که با دقت و سرعت بیشتر قابلیت برداشت زبری‌های سطح را دارد و پروفیل زبری سطح را بر روی صفحه نمایشگر LCD و در نرم‌افزار بر روی کامپیوتر ترسیم می‌کند، در این مطالعه جهت ارزیابی زبری سطح داخلی لوله‌های فایبرگلاس استفاده شده است. در این دستگاه یک قلم از جنس الماس با حرکت روی سطح جسم که کاملاً عمود به مسیر دستگاه برداشت زبری است، تا حداکثر مقدار ۱۷/۵ میلی‌متر، می‌تواند زبری روی سطح را اندازه‌گیری کند. شعاع این قلم ۵ میکرون است و با زوایای ۹۰ و ۶۰ درجه می‌تواند روی سطح قرار گیرد. سرعت حرکت آن بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ میلی‌متر در ثانیه و سرعت برگشت قلم ۱ (mm/s) است. دقت برداشت زبری سطح از ۰/۰۲ تا ۰/۰۲ میکرون به ترتیب برای طول ۳۶۰ تا ۲۵ میکرون بر طبق استاندارد ISO 1997 می‌باشد. شکل ۴، یک نمونه از دستگاه اندازه‌گیری زبری سطح را نشان می‌دهد. این دستگاه حداکثر ارتفاع زبری ۳۶۰ میکرون را می‌تواند برداشت کند. در این دستگاه بر اساس استاندارد ISO 4287 (۲۹)، DIN EN 4288 (۲۸) و فیلتر گوس^{۳۱} منحنی‌های سطح و نوسانات از مقادیر زبری‌های اندازه‌گیری شده از سطح حذف و اصلاح می‌شود. با انجام این کار، نقایص سطح از جمله ترک‌ها، خراشیدگی‌ها و فرورفتگی‌های سطح به عنوان زبری سطح مطرح نشده و اندازه‌گیری نمی‌شوند. برای این دستگاه ۵ طول برش (λc) ۰/۰۸، ۰/۲۵، ۰/۸، ۲/۵ و ۸ میلی‌متر تعریف شده است. همچنین برای حذف موج در اندازه‌گیری‌های زبری سطح در این دستگاه از سه طول موج ۲/۵، ۸ و ۲۵ میکرون استفاده شده است. بر اساس استاندارد DIN4768/1(1978) (۳۰) چنانچه مقدار Rz بین ۰/۵ تا ۱۰ میکرون باشد، طول نمونه اندازه‌گیری زبری باید ۴/۸ میلی‌متر باشد که طول برش ۰/۸ میلی‌متر و Ra بین ۰/۱ تا ۲ میکرون است. اگر مقدار Rz بین ۱۰ تا ۳۰ میکرون باشد، طول نمونه باید ۱۲/۵ میلی‌متر باشد و طول برش ۲/۵ میلی‌متر و Ra بین ۲ تا ۱۰ میکرون است. برای طول برش ۰/۲۵ میلی‌متر هم طول نمونه ۱/۲۵ میلی‌متر و مقادیر Rz بین ۰/۱ تا ۰/۵ میکرون و Ra بین ۰/۰۲ تا ۰/۱ میکرون است.

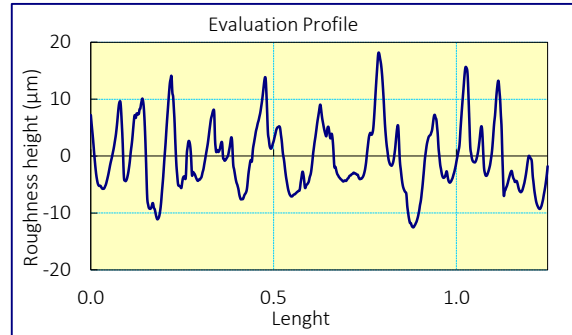
29 - Profilometer - Roughness Tester (PCE-RT)
30 - Portable Surface Roughness Tester (SurfTest)
31 - Filter GAUSS

25 - IRASOL (PFM 5020)
26 - Surface Profile Gage (SPG)
27 - PosiTector Surface Profile Gage (PT-SPG)
28 - Digital Surface Profile Gauge

با قطر بیشتر از ۳۰۰ میلی‌متر و ناپیوسته (DFW)، با قطر کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر لوله‌ها در زبری سطح داخلی آنها، نمونه‌هایی از قطره‌های مختلف لوله در دو رنج مختلف کمتر و بیشتر از ۳۰۰ میلی‌متر انتخاب و تهیه شد. همچنین، جهت بررسی اثر جنس مواد بکار رفته در ساخت لوله‌ها به منظور استحکام مختلف آنها، نمونه‌هایی از دو نوع مختلف تک محوری^{۳۲} و دو محوری^{۳۳} لوله‌ها با مواد بکار رفته در ساخت آنها که دو نوع پلی‌استر^{۳۴} و وینیل‌استر^{۳۵} می‌باشد، تهیه شد. لوله‌ها با قطرهای ۲۰، ۴۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌متر از نوع تک محوری می‌باشند. البته از دو قطر ۲۰۰ و ۸۰۰ میلی‌متر از نوع دو محوری نیز به منظور مقایسه مشخصات زبری لوله‌های تک محوری و دو محوری نمونه تهیه شده است. همچنین، به منظور ارزیابی زبری لوله‌ها پس از استفاده در خطوط انتقال آب یک نمونه از لوله با قطر ۱۰۰۰ میلی‌متر که ۱۵ سال در خط انتقال آب سنقر بوده است تهیه و لوله ۱۰۰۰ قدیمی نامیده شد. شکل ۶ نمونه لوله‌های تهیه شده در قطره‌های مختلف و مشخصات آنها را نشان می‌دهد.

نتایج

زبری سطح داخلی نمونه لوله‌های فایبرگلاس تهیه شده با استفاده از دستگاه تست کننده زبری سطح مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۷) و برداشت‌های زبری از سطح هر یک از لوله‌ها به طول ۱۰ الی ۱۲ سانتی‌متر با سه طول برش ۰/۲۵، ۰/۸ و ۲/۵ انجام شد. بدین ترتیب بر اساس استاندارد زبری، برای طول برش، ۰/۲۵، ۰/۸ الی ۴۳ برداشت به فواصل ۱/۲۵ میلی‌متر، برای طول برش ۰/۸، ۲۵ برداشت به فواصل ۴ میلی‌متر و برای طول برش ۲/۵، ۹ برداشت به فواصل ۱۲/۵ میلی‌متر صورت گرفت. داده‌های استخراج شده از این برداشتها بصورت پروفیل زبری سطح برای هر یک از طول برش‌ها در تمامی قطرها در شکل ۸ و ۹ ترسیم شده است. همانطور که از تصاویر مشخص می‌باشد، با افزایش مقدار طول برش چون طول برداشت نمونه به وسیله دستگاه بیشتر می‌شود و هم زبری‌های بزرگتری از سطح در برداشت دیده می‌شود، مقادیر زبری بزرگتری برای سطح حاصل می‌شود. و به همین جهت مقادیر زبری و به ویژه حداکثر و حداقل مقادیر با طول برش بیشتر افزایش یافته است. پروفیل‌های زبری بدست آمده از نتایج دستگاه تست کننده زبری سطح نشان می‌دهد که این دستگاه ناهمواری‌ها و شیب‌ها و موج‌های موجود در سطح را از نتایج زبری سطح جدا می‌کند و تنها ارتفاع زبری‌های سطح را بدون اثر سایر عوامل محاسبه می‌کند. در هر برداشت زبری سطح با دستگاه Surf test



شکل ۵- نمونه قطعه کاغذ سمباده ۴۰۰ برای صحت سنجی دستگاه تست کننده قابل حمل زبری سطح Surf test SJ-210 و پروفیل زبری سطح از قطعه کاغذ سمباده ۴۰۰.

میکرون محاسبه شده است. از نتایج تحقیقات صورت گرفته روی ۴ نوع مختلف کاغذ سمباده توسط شین و همکاران در سال ۲۰۰۸ (۴۰)، مقدار ارتفاع متوسط زبری کاغذ سمباده ۴۰۰ برابر با $2/55 \pm 35/24$ ($32/69 - 37/79$) میکرون می‌باشد که مقدار میانگین ارتفاع زبری (R_t) اندازه‌گیری شده کاغذ سمباده ۴۰۰ با دستگاه تست کننده زبری سطح در بازه مقدار گزارش شده توسط شین و همکارانش می‌باشد و تنها ۰/۲۵ میکرون با مقدار متوسط آن اختلاف دارد که دارای دقت نسبی ۹۹/۳٪ می‌باشد. همچنین مقدار زبری متوسط R_a کاغذ سمباده ۴۰۰ گزارش شده توسط شین و همکاران (۴۰) برابر با $0/839 \pm 5/47$ ($4/631 - 6/309$) میکرون می‌باشد که مقدار بدست آمده از اندازه‌گیری دستگاه تست کننده زبری در این مطالعه در این بازه می‌باشد و تنها ۰/۴۵۷ میکرون با مقدار متوسط آن اختلاف دارد که دارای دقت نسبی ۹۱/۶٪ می‌باشد. لذا دستگاه زبری کاغذ سمباده را با دقت بالایی برآورد نموده است.

برای انجام آزمایشات زبری سنجی بر روی لوله‌های فایبرگلاس و اندازه‌گیری زبری و پروفیلومتری به وسیله ابزار تست کننده زبری سطح (Surf test SJ-210) نمونه‌هایی با طول ۳۰ سانتی‌متر از جدار لوله‌های فایبرگلاس تهیه شد. به منظور بررسی اثر شیوه ساخت پیوسته (CFW)،

۳۴ - Polyester
۳۵ - Vinylester

۳۲ - Uni-Axial
۳۳ - Bi-axial



شکل ۶- مشخصات نمونه لوله‌های فایبرگلاس انتخابی با قطرهای ۲۰، ۴۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۰۰ B، ۳۰۰، ۳۰۰ B، ۶۰۰، ۸۰۰، ۸۰۰ B و لوله ۱۰۰۰ میلی‌متر جدید و قدیمی جهت ارزیابی زبری سطح داخلی لوله



شکل ۷- قرائت سطح داخلی نمونه لوله فایبرگلاس (GRP) با قطرهای ۲۰، ۴۰، ۱۵۰، ۲۰۰ B، ۳۰۰، ۳۰۰ B، ۶۰۰، ۸۰۰ B و لوله ۱۰۰۰ میلی‌متر قدیمی با استفاده از دستگاه تست کننده زبری سطح (SurfTest SJ-210).

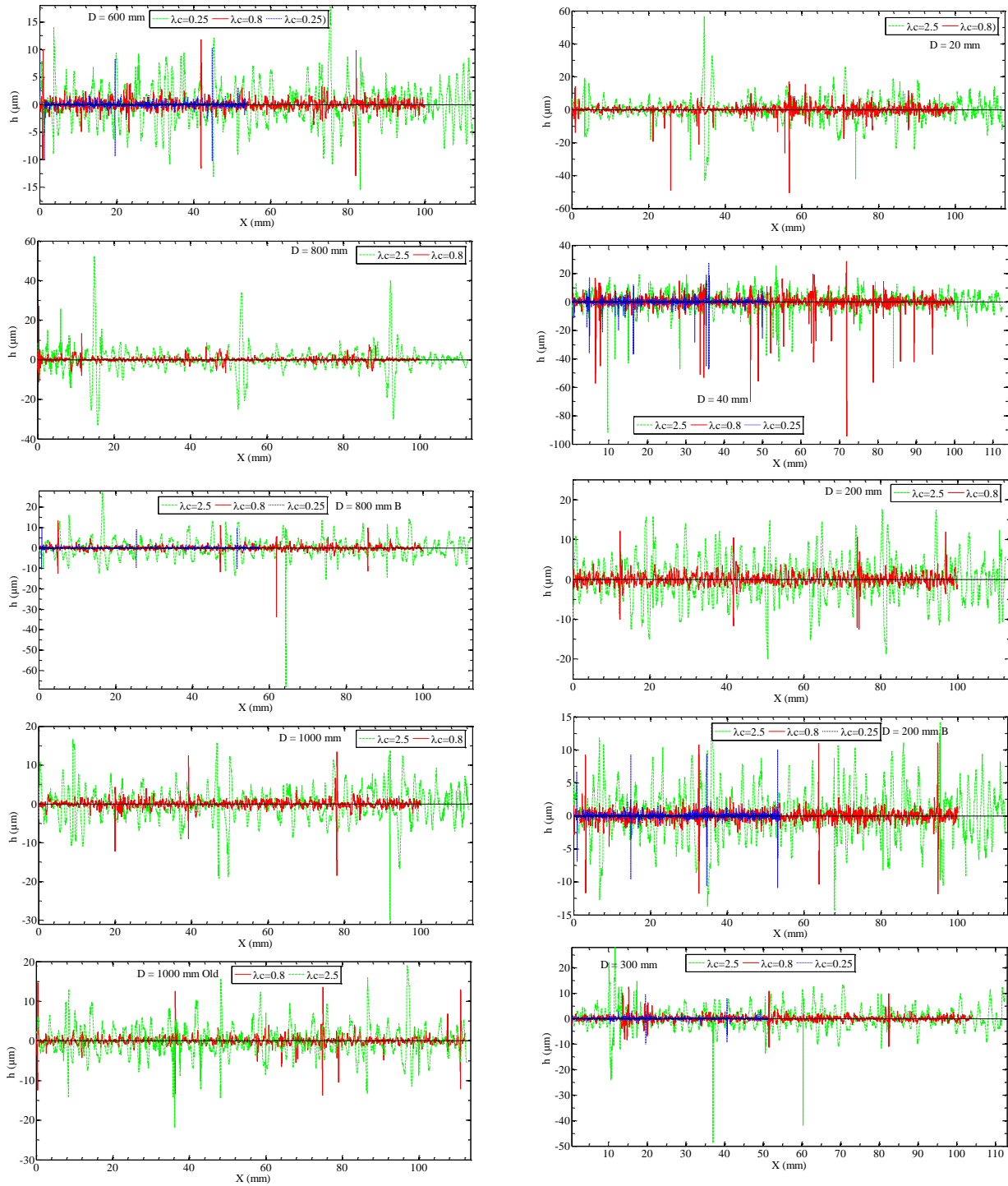
است. در این جدول مقادیر متوسط زبری مطلق ϵ از پارامترهای زبری برآورد شده توسط دستگاه شامل Ra ، Rz و Rt و مقادیر پارامترهای زبری محاسبه شده در این مطالعه شامل $Rasg$ ، $Rasg$ و $Rasgmax$ و $Rtmax$ در قطرهای مختلف در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس

SJ-210 پارامترهای زبری سطح توسط دستگاه محاسبه و نمایش داده می‌شود که مقادیر این پارامترها برای طول برش ۰/۲۵ و برای قطرهای ۲۰، ۴۰، ۲۰۰ B، ۳۰۰، ۳۰۰ B و ۶۰۰ و ۸۰۰ B و برای دو طول برش ۰/۸ و ۲/۵ در همه قطرها محاسبه شد و مقادیر متوسط آنها در جدول ۱ ارائه شده

قرار گرفته که در چند ردیف آخر جدول ۱ ارائه شده است. در هر دو ردیف همه لوله‌ها و لوله‌های تک محوری مقدار زبری حاصل از پارامترهای Rz با طول برش $0/8$ به ترتیب $5/12$ و $5/79$ میکرون است که به مقدار $5/18$ میکرون بسیار نزدیک است و اختلاف آنها $0/06$ و $0/61$ می‌باشد که بخوبی زبری سطح لوله فایبرگلاس را برآورد نموده است. لذا پارامتر زبری Rz با طول برش $0/8$ هم در بازه استاندارد زبری هست و هم پارامتر مناسبی است که زبری متوسط لوله فایبرگلاس به واسطه جنس را با دقت نسبی $98/84$ و $88/2$ درصد به ترتیب در همه لوله‌های فایبرگلاس و لوله‌های تک محوری برآورد کرده است. پس از پارامتر زبری Rz پارامتر زبری Ra برآورد مناسبی از زبری سطح لوله فایبرگلاس بطور متوسط داشته است. مقدار زبری متوسط لوله فایبرگلاس با استفاده از این پارامتر زبری $5/57$ و $6/22$ میکرون به ترتیب برای متوسط کل لوله‌ها و لوله‌های تک محوری فایبرگلاس بوده است. مقادیر برآورد شده با مقدار زبری استاندارد لوله فایبرگلاس به ترتیب $0/39$ و $1/04$ میکرون اختلاف دارد و دقت آن‌ها به ترتیب $92/47$ و 80 درصد می‌باشد. مقادیر متوسط زبری به ازای هر دو برش و به ازای همه قطرهای لوله و لوله‌های تک محوری نیز در ردیف‌های آخر جدول ۱ محاسبه شده است. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که در حالت کلی برای کل طول برش‌ها پارامتر زبری Ra دارای خطای کمتری در اندازه‌گیری زبری سطح داخلی لوله فایبرگلاس بوده است. در مقایسه مقدار زبری اندازه‌گیری شده لوله‌های دو محوری (Bi-axial) و تک محوری (Uni-axial)، مقدار متوسط زبری حاصل از پارامترهای زبری در ستون آخر جدول ۱، نشان می‌دهد که در لوله‌های تک محوری زبری سطح داخلی بیشتر از لوله دو محوری در هر دو قطر 200 و 800 میلی‌متر می‌باشد. برداشت زبری سطح داخلی نمونه لوله‌ها در این مطالعه در جهت طول لوله بوده است و از آنجایی که لوله‌های تک محوری دارای مقاومت بالایی در جهت طول لوله می‌باشند و به جهت استفاده در انتقال سیالات به ویژه بصورت دفنی ساخته می‌شوند، لذا

استانداردهای زبری مقادیر زبری مطلق سطح بایستی کمتر از 200 میکرون باشند زیرا مقادیر بیشتر طبق استاندارد زبری به عنوان زبری سطح مطرح نمی‌شوند، تمام مقادیر پارامترهای زبری برآورد شده در جدول ۱ که کمتر از 200 میکرون هستند به عنوان زبری سطح مطرح می‌باشند.

با توجه به استانداردهای زبری ISO 4287 (۲۹)، 4288 DIN EN (۲۸) ، مقادیر پارامترهای زبری Ra ، برای طول برش $0/25$ (λc) باید در بازه $0/2$ تا $0/1$ میکرون، برای طول برش $0/8$ در بازه $0/1$ تا 2 میکرون و برای طول برش $2/5$ باید به ترتیب در بازه 2 تا 10 میکرون باشند. همچنین مقادیر پارامترهای زبری Rt یا Rz برای طول برش $0/25$ باید در بازه $0/1$ تا $0/5$ میکرون، برای طول برش $0/8$ در بازه $0/1$ تا 2 میکرون و برای طول برش $2/5$ باید در بازه 10 تا 50 میکرون باشند در غیر اینصورت طول برش انتخابی مناسب سطح نمی‌باشد. مقادیر متوسط پارامترهای زبری Ra ، Rz و Rt محاسبه شده برای طول برش $0/25$ (جدول ۱) و سایر پارامترها در بازه استاندارد زبری واقع نمی‌شوند. در نتیجه طول برش $0/25$ مناسب برای ارزیابی زبری های سطح داخلی لوله‌ها نمی‌باشد. مقادیر متوسط پارامترهای زبری Ra ، Rz و Rt محاسبه شده برای قطرهای مختلف با طول برش $0/8$ در جدول ۱، برای تمام مقادیر متوسط پارامترهای زبری در تمامی قطرهای بجز قطر 40 و پارامتر زبری Rt در قطر 20 ، همه پارامترها در این بازه استاندارد قرار می‌گیرند که با رنگ خاکستری در جدول ۱ مشخص شده است. لذا طول برش $0/8$ بجز در قطر 40 میلی‌متر در سایر قطرهای طول برش مناسب برای برآورد زبری می‌باشد. در سایر پارامترهای زبری با این طول برش فقط پارامتر Ra در همه قطرهای بجز قطر 40 میلی‌متر در بازه استاندارد قرار می‌گیرد. مقادیر متوسط زبری مطلق پارامترهای زبری Ra و Rt یا Rz برای طول برش $2/5$ در قطرهای مختلف بجز پارامتر زبری Rt در قطر 40 ، همه مقادیر در بازه استاندارد قرار می‌گیرند و بنابراین، طول برش $2/5$ برای محاسبه زبری با ابزار زبری‌سنجی SurfTest SJ-210 و این جنس لوله‌ها در قطرهای مختلف به طور متوسط طول برش مناسبی می‌باشد. در این جدول مقادیر زبری مطلق محاسبه شده از پارامترهای $Rtmax$ و $Rasgmax$ در طول برش $0/8$ در تمامی قطرهای در بازه استاندارد زبری نمی‌باشند و در طول برش $2/5$ تنها در برخی قطرهای در بازه استاندارد زبری می‌باشند. لذا این دو پارامتر مناسبی در برآورد زبری سطح داخلی لوله‌های فایبرگلاس نمی‌باشند. اما پارامترهای زبری Ra ، Rz ، Rt و Ra در طول برش $0/8$ در تمامی قطرهای بجز قطر 40 میلی‌متر و در طول برش $2/5$ بجز پارامتر Rt در قطر 40 میلی‌متر در سایر قطرهای در بازه استاندارد زبری برای این طول برش‌ها می‌باشند. همچنین، نتایج زبری محاسبه شده از پارامتر زبری Ra در همه طول برش‌ها و در پارامتر زبری Rz برای قطر بیشتر از 40 میلی‌متر بجز طول برش $2/5$ کمتر از مقدار $5/18$ میکرون زبری استاندارد لوله فایبرگلاس که در منابع مهندسی (۴۱) گزارش شده است، می‌باشد و در پارامتر زبری Rz با طول برش $2/5$ بیشتر از مقدار زبری استاندارد است. مقادیر زبری سطح داخلی لوله به ازای پارامترهای زبری مختلف برداشت شده و محاسبه شده با مقدار طول برش‌های $0/8$ و $2/5$ برای متوسط همه قطرهای و همه قطرهای لوله‌های تک محوری مورد مطالعه



شکل ۹- پروفیل تهیه شده از قرائت سطح داخلی نمونه لوله فایبرگلاس با قطرهای ۶۰۰، ۸۰۰ میلی‌متر و لوله ۱۰۰۰ میلی‌متر قدیمی و استفاده از دستگاه تست کننده زبری سطح Surfrest SJ-210.

شکل ۸- پروفیل تهیه شده از قرائت سطح داخلی نمونه لوله فایبرگلاس با قطرهای ۲۰، ۴۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ میلی‌متر و لوله ۱۰۰۰ میلی‌متر قدیمی و استفاده از دستگاه تست کننده زبری سطح Surfrest SJ-210.

مقاومت بیشتر جنس مواد بکار رفته در ساخت آنها و استفاده از شن در دیواره سبب زبری بیشتر در دیواره داخلی لوله نیز شده است. هرچند لوله‌های دو محوری نیز قابلیت مقاومت در برابر تنش‌های برشی در هر

.210

جدول ۱- مقادیر زبری مطلق محاسبه شده از پارامترهای زبری برداشت شده از سطح داخلی لوله GRP به وسیله دستگاه SurfTest SJ-210 با مقادیر طول برش (λc) و قطرهای مختلف.

d (mm)	(λc)	ϵ (Ra) (μm)	ϵ (Rz) (μm)	ϵ (Rasg) (μm)	ϵ (Raesg) (μm)	ϵ (Rtmax) (μm)	ϵ (Rasgmax) (μm)	ϵ (Rt) (μm)	$\bar{\epsilon}$ (μm)
20	0.8	1.45	8.38	16.04	8.53	67.12	38.84	18.90	22.75
	2.5	4.98	23.96	54.92	29.19	99.24	97.30	44.07	50.52
40	0.25	0.98	5.26	10.86	5.77	75.33	68.99	12.47	25.67
	0.8	2.41	16.06	26.55	14.11	122.87	59.02	39.74	40.11
150	2.5	4.63	30.58	51.05	27.14	108.92	59.67	54.60	48.08
	0.8	0.93	4.39	10.21	5.43	21.57	21.50	7.94	10.28
200	2.5	4.94	20.36	54.51	28.97	41.35	86.19	31.87	38.31
	0.8	0.98	4.19	10.81	5.75	23.06	20.33	7.57	10.38
200 B	2.5	4.18	17.24	46.05	24.48	36.12	56.59	27.37	30.29
	0.25	0.19	1.17	2.07	1.10	20.99	9.70	3.13	5.48
300	0.8	0.62	3.29	6.79	3.61	22.85	13.11	6.78	8.15
	2.5	2.84	12.73	31.37	16.67	27.73	47.26	20.99	22.80
600	0.25	0.18	1.24	2.04	1.08	20.22	8.68	3.14	5.23
	0.8	0.74	3.78	8.17	4.34	22.03	24.50	6.85	10.06
800	2.5	3.13	15.83	34.47	18.32	56.63	45.49	32.26	29.45
	0.25	0.15	1.03	1.69	0.90	20.33	7.67	2.61	4.91
800 B	0.8	0.61	3.13	6.74	3.58	23.27	12.36	6.49	8.03
	2.5	2.75	12.63	30.39	16.15	32.99	41.14	19.96	22.29
1000	0.8	0.74	3.33	8.20	4.36	38.51	22.32	7.11	12.08
	2.5	3.96	18.53	43.73	23.25	85.60	90.15	36.29	43.07
1000 old	0.25	0.16	0.96	1.74	0.92	19.71	10.47	2.37	5.19
	0.8	0.73	3.49	8.03	4.27	39.25	13.52	8.36	11.09
All	2.5	3.45	16.04	38.07	20.24	81.37	52.99	31.21	34.77
	0.8	0.63	3.06	6.92	3.68	31.84	16.95	6.48	9.94
Average	2.5	3.25	13.79	35.87	19.06	43.85	51.21	22.89	27.13
	0.8	0.62	3.23	6.81	3.62	27.17	15.54	7.92	9.27
Uniaxial	2.5	2.88	13.19	31.81	16.91	30.63	38.95	24.01	22.63
	0.8	0.95	5.12	10.48	5.57	39.96	23.45	11.29	13.83
Average	2.5	3.73	17.72	41.11	21.85	58.58	60.63	31.41	33.58
	0.8	1.06	5.79	11.71	6.22	43.78	26.98	12.64	15.45
Average	2.5	3.98	19.12	43.87	23.32	63.09	65.97	33.66	36.14
	0.8	2.52	12.45	27.79	14.77	53.435	46.475	23.15	25.8

بیشتری داشته است و به همین جهت زبری حاصل از این پارامترها در لوله دو محوری بیشتر از تک محوری بوده است. در حالی که زبری حاصل از سایر پارامترها در لوله دو محوری کمتر از تک محوری است. به منظور بررسی دقت زبری مطلق محاسبه شده از دستگاه تست کننده زبری سطح مقدار خطای محاسباتی جذر میانگین مربعات (RMSE) آنها نسبت به مقدار زبری مطلق لوله فایبرگلاس (۵/۱۸ میکرون) محاسبه محاسبه و در جدول ۲، ارائه شده است. مقادیر حداقل خطای جذر میانگین مربعات به ازای طول برشهای مختلف با رنگ زمینه خاکستری مشخص شده است که رنگ سبز نشان دهنده حداقل این خطا به ازای هر قطر می باشد. مقدار حداقل قدرمطلق خطای نسبی هر قطر نیز در ستون آخر نشان محاسبه شده است. همانطور که در جدول

دو جهت را دارند و بجز در جهت طول لوله در جهت عرض لوله نیز لذا مقاومت بیشتر جنس مواد بکار رفته در ساخت آنها و استفاده از شن در دیواره سبب زبری بیشتر در دیواره داخلی لوله نیز شده است. هرچند لوله‌های دو محوری نیز قابلیت مقاومت در برابر تنش‌های برشی در هر دو جهت را دارند و بجز در جهت طول لوله در جهت عرض لوله نیز الیاف‌های پشم شیشه جهت افزایش مقاومت لوله به کار رفته است، اما مقاومت طولی آنها کمتر از لوله‌های تک محوری بوده و بیشتر در روی سطح زمین استفاده می‌شوند. لذا زبری سطح داخلی لوله‌های دو محوری بطور متوسط همانطور که نتایج زبری سنجی هم نشان می‌دهد کمتر از لوله‌های تک محوری می‌باشد. در قطر ۲۰۰ میلی‌متر لوله تک محوری، به ازای همه پارامترهای زبری، این روند برقرار است و مقدار زبری لوله تک محوری بیشتر از لوله دو محوری (۲۰۰B) می‌باشد. اما در قطر ۸۰۰ میلی‌متر تنها در زبری حاصل از پارامترهای Rz ، Rt ، $Rtmax$ و $Rasgmax$ مقدار اندکی زبری در لوله دو محوری بیشتر از تک محوری شده است. این پارامترهای زبری متأثر از مقادیر حداقل و حداکثر زبری می‌باشند و چون در لوله‌های دو محوری الیاف‌های عرضی در دیواره لوله افزایش داشته در مقادیر حداکثر و حداقل زبری‌ها تاثیر

جدول ۲- خطای محاسباتی میانگین مربعات (RMSE) زبری مطلق حاصل از پارامترهای زبری برداشت شده و محاسبه شده از سطح داخلی لوله فایبرگلاس (GRP) به وسیله دستگاه تست کننده زبری سطح بر حسب میکرون و حداقل قدرمطلق خطای نسبی زبری مطلق نسبت به زبری مطلق لوله فایبرگلاس (۵/۱۸ میکرون) با مقدار طول برش (λc) و قطر های مختلف.

d (mm)	(λc)	RMSE ϵ (Ra)	RMSE ϵ (Rz)	RMSE ϵ (Rasg)	RMSE ϵ (Raesg)	RMSE ϵ (Rtmax)	RMSE ϵ (Rasgmax)	RMSE ϵ (Rt)	Min E(ϵ)
20	0.8	2.638	2.263	7.679	2.369	43.798	23.801	9.702	0.618
	2.5	0.141	13.279	35.171	16.978	66.510	65.139	27.499	0.039
40	0.25	2.970	0.057	4.016	0.417	49.604	45.120	5.155	0.015
	0.8	1.959	7.693	15.111	6.314	83.219	38.071	24.438	0.535
	2.5	0.389	17.961	32.435	15.528	73.355	38.530	34.945	0.106
150	0.8	3.005	0.559	3.557	0.177	11.589	11.540	1.952	0.048
	2.5	0.170	10.734	34.882	16.822	25.576	57.283	18.873	0.046
200	0.8	2.970	0.700	3.981	0.403	12.643	10.713	1.690	0.110
	2.5	0.707	8.528	28.899	13.647	21.878	36.352	15.691	0.193
200 B	0.25	3.528	2.835	2.199	2.885	11.179	3.196	1.450	0.396
	0.8	3.224	1.336	1.138	1.110	12.495	5.607	1.131	0.303
	2.5	1.655	5.339	18.519	8.125	15.945	29.755	11.179	0.452
300	0.25	3.536	2.786	2.220	2.899	10.635	2.475	1.442	0.394
	0.8	3.140	0.990	2.114	0.594	11.915	13.661	1.181	0.162
	2.5	1.450	7.531	20.711	9.291	36.381	28.503	19.148	0.396
600	0.25	3.557	2.934	2.468	3.026	10.713	1.761	1.817	0.481
	0.8	3.231	1.450	1.103	1.131	12.792	5.077	0.926	0.253
	2.5	1.718	5.268	17.826	7.757	19.665	25.428	10.451	0.469
800	0.8	3.140	1.308	2.135	0.580	23.568	12.120	1.365	0.158
	2.5	0.863	9.440	27.259	12.777	56.866	60.083	21.998	0.236
800 B	0.25	3.550	2.984	2.432	3.012	10.274	3.741	1.987	0.542
	0.8	3.147	1.195	2.015	0.643	24.091	5.897	2.249	0.176
	2.5	1.223	7.679	23.257	10.649	53.874	33.807	18.406	0.334
1000	0.8	3.217	1.499	1.230	1.061	18.851	8.323	0.919	0.251
	2.5	1.365	6.088	21.701	9.815	27.344	32.548	12.523	0.373
1000 old	0.8	3.224	1.379	1.153	1.103	15.549	7.326	1.937	0.301
	2.5	1.626	5.664	18.830	8.294	17.996	23.879	13.315	0.444

جدول ۳- مقدار خطای محاسباتی میانگین مربعات (RMSE) زبری پارامترهای مختلف بر حسب میکرون با طول برش ۸/۰ و ۵/۲ در لوله فایبرگلاس تک محوری قدیمی نسبت به لوله نو برای قطر ۱۰۰۰ میلی متر

d (mm)	(λc)	RMSE ϵ (Ra)	RMSE ϵ (Rz)	RMSE ϵ (Rasg)	RMSE ϵ (Raesg)	RMSE ϵ (Rtmax)	RMSE ϵ (Rasgmax)	RMSE ϵ (Rt)	Min E(ϵ)
1000	0.8	0.007	0.120	0.078	0.042	3.302	0.997	1.018	0.016
old	2.5	0.262	0.424	2.871	1.520	9.348	8.669	0.792	0.044

جدول ۴- زبری مطلق برداشت شده و محاسبه شده از سطح داخلی لوله فایبرگلاس به وسیله دستگاه تست کننده زبری با مقدار طول برش (λc) مختلف و مقادیر میانگین آنها.

d (mm)	(λc)	ϵ (Ra) (μm)	ϵ (Rz) (μm)	ϵ (Rasg) (μm)	ϵ (Raesg) (μm)	ϵ (Rtmax) (μm)	ϵ (Rasgmax) (μm)	ϵ (Rt) (μm)
120	0.25	0.74	4.17	8.13	4.32	8.92	11.80	5.78
	0.8	1.11	7.50	12.25	6.51	14.15	17.20	9.48
	2.5	1.46	10.80	16.13	8.57	18.32	19.68	13.23
Average		1.10	7.49	12.17	6.47	13.80	16.23	9.50

در خطوط انتقال تقریباً یکسان می‌ماند. حداقل خطای نسبی در ستون آخر جدول ۳ نیز تایید کننده این مطلب می‌باشد که با دقت ۹۸/۴ و ۹۵/۶ درصد به ترتیب برای طول برش ۰/۸ و ۲/۵ مقدار زبری مطلق لوله قدیمی نسبت به نو تغییر زیادی نداشته است.

به منظور مقایسه و صحت سنجی عملکرد دستگاه تست کننده زبری نمونه‌ای از لوله پولیکا^{۳۶} (U-PVC) با قطر ۱۲۰ میلی‌متر با طول ۳۰ سانتی‌متر تهیه شد و زبری سطح داخلی آن با این دستگاه برداشت شد (شکل ۱۰). با انتخاب سه طول برش ۰/۲۵، ۰/۸ و ۲/۵ برداشتهایی از سطح لوله به طول ۵ سانتی‌متر انجام شد. بدین ترتیب که برای طول برش ۰/۲۵، ۲۱ برداشت به فواصل ۱،۲۵ میلی‌متر و برای طول برش ۰/۸، ۱۱ برداشت به فواصل ۴ میلی‌متر و برای طول برش ۲/۵، ۴ برداشت به فواصل ۱۲/۵ میلی‌متر صورت گرفت. داده‌های استخراج شده بصورت پروفیل زبری سطح برای هر یک از طول برش‌ها در شکل ۱۰ ترسیم شده است. متوسط زبری مطلق (ε) سطح داخلی لوله U-PVC با استفاده از پارامترهای زبری برای طول برش مختلف در جدول ۴ ارائه شده است. مقادیر متوسط پارامترهای زبری به ازای طول برش ۰/۲۵ در بازه استاندارد زبری نمی‌باشد اما برای طول برش ۰/۸ و ۲/۵ در بازه استاندارد می‌باشد که با رنگ خاکستری هم در جدول نشان داده شده است. در این جدول مقادیر زبری مطلق محاسبه شده از پارامترهای زبری Ra ، Rz و Rt برای طول برش ۰/۸ و تمامی پارامترها برای طول برش ۲/۵ در بازه استاندارد قرار دارند.

در لوله U-PVC، U مخفف غیرپلاستیک است تنها تفاوت لوله U-PVC و PVC حذف مواد پلاستیک ساز فتالات و BPA در لوله U-PVC می‌باشد. لذا لوله U-PVC دارای استحکام بیشتری نسبت به لوله PVC است و معمولاً پلاستیک سفت و سخت نامیده می‌شود. ارتفاع زبری مطلق ذکر شده در منابع مهندسی (۴۱) برای لوله PVC، ۱/۵ میکرون می‌باشد. بررسی نتایج متوسط زبری مطلق سطح داخلی لوله U-PVC در جدول ۴ در مقایسه با مقدار گزارش شده آن که برابر با لوله PVC ۱/۵ میکرون در نظر گرفته شده، نشان می‌دهد که پارامتر زبری Ra با طول برش ۲/۵ بهترین تطابق را با مقدار زبری گزارش شده در منابع را دارد و اختلاف آن در حدود ۰/۰۲۸ میکرون و دقت محاسباتی آن ۹۷/۴۶٪ می‌باشد. لذا، پارامتر Ra با طول برش ۲/۵ پارامتر مناسبی برای ارزیابی ضریب زبری ناشی از زبری سطح داخلی این نوع لوله می‌باشد. مقادیر متوسط زبری به ازای تمام مقادیر طول برشها نیز در ردیف آخر جدول ۴ نیز نشان می‌دهد که پارامتر Ra مشابه لوله فایبرگلاس پارامتر مناسبی برای برآورد زبری لوله U-PVC نیز می‌باشد.

۲، دیده می‌شود، نتایج زبری محاسبه شده از پارامترهای زبری Rz ، Ra و Rt دارای حداقل خطا در هر یک از قطرهای هستند و حداقل خطای محاسبه شده و دقیق ترین زبری سطح داخلی لوله فایبرگلاس در جدول ۲ برای قطرهای کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر بیشتر مربوط به پارامتر زبری Ra با طول برش ۲/۵ و در قطرهای بالاتر بیشتر مربوط به پارامتر زبری Ra و Rt با طول برش ۰/۸ می‌باشد. لذا در محاسبه زبری مطلق سطح لوله فایبرگلاس پارامترهای Ra با طول برش ۲/۵ و Ra و Rt با طول برش ۰/۸ پارامترهای مناسبی جهت ارزیابی زبری حاصل از جنس لوله فایبرگلاس می‌باشند. مقادیر حداقل قدرمطلق خطای نسبی زبری برداشت شده نسبت به زبری مطلق برای قطرهای کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر با طول برش ۰/۸ و برای بیشتر از ۱۵۰ میلی‌متر بجز قطر ۴۰ میلی‌متر با طول برش ۲/۵ کمینه خطا حاصل شده و برای قطر ۴۰ میلی‌متر طول برش ۰/۲۵ کمترین خطا و بیشترین دقت (۹۸/۵ درصد) را داشته است.

جهت بررسی اثر کارکرد و بکارگیری لوله‌های فایبرگلاس در پروژه‌های آبرسانی بر روی مقادیر ضرایب زبری این لوله‌ها، یک نمونه از لوله فایبرگلاس تک محوری با قطر ۱۰۰۰ میلی‌متر تازه تولید شده و یک نمونه از لوله فایبرگلاس تک محوری که پس از ۱۵ سال استفاده در خطوط آبرسانی سقز از خط خارج شده با مشخصاتی مشابه تهیه شد. رسوبات که در سطح داخلی لوله خارج شده از خط آبرسانی ته نشین شده از سطح نمونه زوده شد و مقادیر زبری سطح داخلی این لوله با دستگاه‌های زبرسنجی برداشت شد. پس از انجام محاسبات مقدار زبری سطح با استفاده از پارامترهای زبری در جدول ۱ برای لوله ۱۰۰۰ قدیمی تهیه گردید. مقایسه زبری لوله‌های فایبرگلاس نو و قدیمی با قطر ۱۰۰۰ میلی‌متر و طول برش مختلف نشان می‌دهد که زبری لوله قدیمی اندکی کمتر از لوله نو شده است که این به جهت فرسایش و کاهش زبری جنس سطح لوله در گذر زمان می‌باشد. در نتیجه زبری لوله‌ها در اثر استفاده در لوله‌های قدیمی کاهش یافته است. البته، در شبکه انتقال بواسطه رسوبگذاری مقدار ضریب زبری افزایش می‌یابد.

خطای میانگین مربعات زبری در لوله فایبرگلاس تک محوری قدیمی نسبت به لوله نو برای قطر ۱۰۰۰ میلی‌متر در جدول ۳ ارائه شده است. مقادیر خطای میانگین مربعات زبری بسیار اندک می‌باشد و مقادیر این خطاها در طول برش ۲/۵ از ۰/۸ بیشتر می‌باشد. همچنین مقادیر خطای محاسباتی بیشتر از سایر ضرایب زبری در لوله قدیمی نسبت به لوله نو می‌باشد. این افزایش خطا به مقدار بسیار ناچیز که حداکثر ۳/۳ و ۹/۳۴ میکرون در پارامتر زبری $Rtmax$ به ترتیب برای طول برش ۰/۸ و ۲/۵ می‌باشد ناشی از تاثیر تغییرات حداکثر و حداقل ارتفاع زبری لوله قدیمی نسبت به لوله نو به واسطه تاثیرات فرسایش می‌باشد که در پارامترهای زبری که به حداکثر و حداقل‌های زبری سطح و مراحل ساخت لوله وابسته هستند، نمایان شده است. در حالی که تغییرات زبری جنس لوله فایبرگلاس قدیمی و نو که در پارامتر زبری Ra به عنوان متوسط زبری جنس سطح مطرح می‌باشد، بسیار اندک و در حدود ۰/۰۰۷ و ۰/۲۶ میکرون به ترتیب برای طول برش ۰/۸ و ۲/۵ می‌باشد و به همین جهت می‌توان گفت که زبری جنس لوله فایبرگلاس در طول استفاده

فایبرگلاس در گذر زمان و بکارگیری در خطوط انتقال می‌باشد. نتایج زبری‌سنجی در لوله پولیکا (U-PVC) نیز نشان از صحت دستگاه تست کننده زبری در برآورد زبری سطح داخلی لوله داشت. پارامتر Ra با طول برش ۲/۵ در لوله پولیکا نیز مشابه با لوله فایبرگلاس مقدار زبری متوسط این نوع لوله را با دقت بالایی برآورد نموده است.

پیشنهادها

در تحقیقات آینده به بررسی نتایج زبری‌سنجی لوله فایبرگلاس در سایر دستگاه‌های زبری‌سنجی می‌توان پرداخت و ضریب افت اصطکاک جریان در لوله‌های فایبرگلاس و عوامل موثر در کاهش افت جریان در این نوع لوله‌ها را بررسی نمود.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

از مجموعه تولیدی و صنعتی فراسان و مدیریت محترم آن جناب آقای دکتر محمد رضا ظهیر امامی و شرکت دانش بنیان و مرکز تحقیقاتی فراتک که شرایط و امکانات لازم جهت تهیه نمونه لوله‌های فایبرگلاس و انجام این تحقیق به عنوان مطالعه بخشی از عملکرد رشته لوله‌های فایبرگلاس تولیدی در این مجموعه را محقق ساخته اند کمال تشکر و سپاسگزاری را داریم. همچنین از آزمایشگاه مرکزی فیزیک دانشگاه صنعتی شیراز که امکان دسترسی به دستگاه تست کننده زبری را فراهم نمودند سپاسگزاریم.

مشارکت نویسندگان

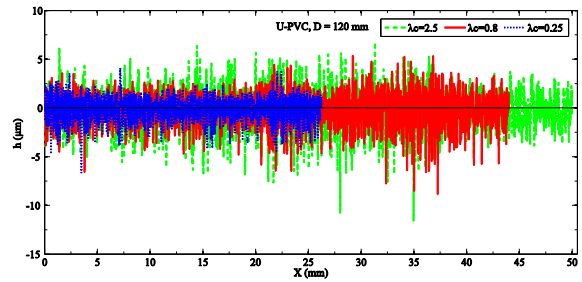
طراحی و ایده‌پردازی: فرنوش آقایی دانشور، ناصر طالب بیدختی، سید مهدی دهقان؛

روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: فرنوش آقایی دانشور، سید مهدی دهقان، سید محمد مهدی الهامیان؛

نظارت و نگارش نهایی: فرنوش آقایی دانشور، سید مهدی دهقان.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.



شکل ۱۰- قرائت سطح داخلی نمونه لوله پولیکا (U-PVC) با قطر ۱۲۰ میلی‌متر با استفاده از دستگاه تست کننده زبری سطح و پروفیل تهیه شده از قرائت سطح داخلی نمونه لوله پولیکا (U-PVC).

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی زبری سطح داخلی لوله‌های فایبرگلاس با استفاده از دستگاه تست کننده زبری و برآورد آن با پارامترهای مختلف زبری پرداختیم و تاثیر هر یک از این پارامترهای زبری در برآورد زبری سطح را بررسی نمودیم. ارزیابی و صحت‌سنجی دستگاه تست کننده زبری به وسیله کاغذ سمباده دقت مناسب این دستگاه در برآورد زبری سطح کاغذ سمباده تایید نمود. بر اساس نتایج آزمایشات این تحقیق، پارامترهای زبری Rz با طول برش ۰/۸ بطور متوسط پارامتر مناسبی برای برآورد زبری سطح داخلی لوله فایبرگلاس می‌باشد و پس از آن پارامتر زبری Ra با طول برش ۰/۸ پارامتر مناسبی در برآورد زبری سطح بوده است. در طول برش ۲/۵ نیز پارامتر Ra پارامتر مناسبی جهت برآورد زبری سطح داخلی لوله فایبرگلاس می‌باشد. همچنین برداشت‌های زبری با دستگاه زبری‌سنجی نشان داد که زبری سطح داخلی لوله‌های دو محوری بطور متوسط کمتر از لوله‌های تک محوری می‌باشد. علاوه بر این در مقایسه زبری لوله‌های فایبرگلاس تازه تولید شده و قدیمی، که از خط انتقال آبرسانی سنقر خارج شده است، با قطر ۱۰۰۰ میلی‌متر مشخص گردید که پارامترهای زبری سطح که بر اساس اختلاف حداکثر و حداقل‌های زبری سطح داخلی لوله تعیین می‌شوند و مرتبط با اثر مراحل ساخت لوله می‌باشند، در اثر گذر زمان و بکارگیری لوله فایبرگلاس در پروژه‌ها کاهش می‌یابند که این ناشی از فرسایش حداکثرهای زبری‌های ناگهانی سطح داخلی لوله می‌باشد. در حالی که، پارامترهای زبری که بیشتر بیانگر زبری متوسط سطح لوله و مرتبط با جنس لوله می‌باشند در لوله‌های قدیمی و نو تغییر چندانی نداشته و تقریباً ثابت بوده‌اند که نشانگر ثابت ماندن زبری متوسط سطح لوله‌های

References

1. Landolfo R. Lightweight steel framed systems in seismic areas: Current achievements and future challenges. *Thin-Walled Structures*. 2019;140:114-31.
2. Nikuradse J. Stromungsgesetze in rauhen Rohren. *vdi-forschungsheft*. 1933;361:1.
3. Moody LF. Friction factors for pipe flow. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*. 1944;66(8):671-8.
4. Colebrook CF, Blench T, Chatley H, Essex E, Finnicome J, Lacey G, et al. Correspondence. turbulent flow in pipes, with particular reference to the transition region between the smooth and rough pipe laws.(includes plates). *Journal of the Institution of Civil engineers*. 1939;12(8):393-422.
5. Chadwick A, Morfett J, Borthwick M. *Hydraulics in civil and environmental engineering*: Crc Press; 2021.
6. Kudela H. *Hydraulic losses in pipes*. Wroclas University of Science and. 2012.
7. Brkić D, Praks P. Unified friction formulation from laminar to fully rough turbulent flow. *Applied Sciences*. 2018; 8(11):2036.
8. Rawool A, Mitra SK, Kandlikar S. Numerical simulation of flow through microchannels with designed roughness. *Microfluidics and nanofluidics*. 2006;2:215-21.
9. Taylor JB, Carrano AL, Kandlikar SG. Characterization of the effect of surface roughness and texture on fluid flow—past, present, and future. *International journal of thermal sciences*. 2006;45(10):962-8.
10. Thomas T. *Rough Surfaces*, edited by Imperial College Press. London; 1999.
11. Ren J. *Micro/nano scale surface roughness tailoring and its effect on microfluidic flow*. 2013.
12. Farshad F, Rieke H, Garber J. New developments in surface roughness measurements, characterization, and modeling fluid flow in pipe. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2001; 29(2):139-50.
13. Farshad FF, Rieke H, Mauldin C, editors. *Flow test validation of direct measurement methods used to determine surface roughness in pipes (OCTG)*. SPE Western Regional/AAPG Pacific Section Joint Meeting; 2002: OnePetro.
14. Farshad FF, Pesacreta TC. Coated pipe interior surface roughness as measured by three scanning probe instruments. *Anti-Corrosion Methods and Materials*. 2003; 50(1):6-16.
15. Kleinstreuer C. *Modern fluid dynamics*: Springer; 2018.
16. Dzarma G, Adeyemi A, Taj-Liad A. Effect of Inner Surface Roughness on Pressure Drop in a Small Diameter Pip. *Int J Novel Res Eng Pharm Sci*. 2020; 7(1):1-8.
17. Liu Y, Li J, Smits AJ. Roughness effects in laminar channel flow. *Journal of Fluid Mechanics*. 2019; 876:1129-45.
18. Xue P, Huang Z, Chen C. Effect of Substrate Roughness on the Friction and Wear Behaviors of Laser-Induced Graphene Film. *Lubricants*. 2022;10(10):239.
19. Effendi MK, Soepangkat BO, Noorcahyo R, Batan IML, Wahyudi A, Harnany D, editors. *An analysis of frictional coefficient and surface roughness in surface grinding of SKD 11 tool steel using Minimum Quantity Lubrication (MQL) and dry techniques*. IOP

- Conference Series: Materials Science and Engineering; 2021: IOP Publishing.
20. Khaday S, Li K-W, Peng L, Chen C-C. Relationship between friction coefficient and surface roughness of stone and ceramic floors. *Coatings*. 2021;11(10):1254.
 21. Farshad FF, Rieke HH. Surface-roughness design values for modern pipes. *SPE Drilling & Completion*. 2006; 21(03):212-5.
 22. Manual A. M45: Fiberglass Pipe Design. American Water Works Association; 2005.
 23. Raja J, Muralikrishnan B, Fu S. Recent advances in separation of roughness, waviness and form. *Precision Engineering*. 2002; 26(2):222-35.
 24. Muralikrishnan B, Raja J. *Computational surface and roundness metrology*: Springer Science & Business Media; 2008.
 25. Fadzil MA, Prakasa E, Fitriyah H, Nugroho H, Affandi AM, Hussein S. Validation on 3D surface roughness algorithm for measuring roughness of psoriasis lesion. *International Journal of Biomedical and Biological Engineering*. 2010; 4(3):82-7.
 26. Blunt L, Jiang X. *Advanced techniques for assessment surface topography: development of a basis for 3D surface texture standards" surfstand"*: Elsevier; 2003.
 27. ASME B46.1. *Surface texture—surface roughness, waviness, and lay*. 1995.
 28. Iso E. 4288–Geometrical product specifications (GPS)–Surface texture: profile method–Rules and procedures for the assessment. 1996.
 29. Iso E. 4287–Geometrical product specifications (GPS)–Surface texture: profile method–terms, definitions and surface texture parameters. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland. 1997.
 30. DIN4768/1. *Determination of Surface Roughness of Parameters Ra, Rz, and Rmax by means of Electrical Stylus Instruments*. Deutsche Inst fuer Normung eV Berlin; 1987.
 31. Mitutoyo productivity quality INC. *Surface Finish Analysis, Mitutoyo corporation 80th anniversary since 1934*. 2014; 1-58.
 32. Mitutoyo America corporation. *Quick guide to surface roughness measurement, Reference guide for laboratory and workshop Bulletin*. 2016; 2229, 1-888-MITUTOYO (1-888-648-8869).
 33. Adams T, Grant C, Watson H. A simple algorithm to relate measured surface roughness to equivalent sand-grain roughness. *International Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics*. 2012; 1(2):66-71.
 34. Kandlikar SG, Schmitt D, Carrano AL, Taylor JB. Characterization of surface roughness effects on pressure drop in single-phase flow in minichannels. *Physics of Fluids*. 2005; 17(10):100606.
 35. Darcy H. *Recherches expérimentales relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux*: Mallet-Bachelier; 1857.
 36. Kandlikar SG. *Single-phase liquid flow in minichannels and microchannels. Heat transfer and fluid flow in minichannels and microchannels. 2*: Elsevier Oxford, UK; 2006. p. 87.
 37. Brown CA. *Introduction to surface roughness measurement roughness measurement guidebook*. OLYMPUS Corporation Shinjuku Monolith, Tokyo 163-0914, Japan. N8600858-102020.
 38. Mitutoyo corporation user's manual. *Surface roughness tester SJ-210, No. 99MBB122A2, SERIES No. 178*.
 39. Mitutoyo America corporation. *Surface roughness measurement, Practical tips for laboratory and workshop Bulletin*,

- 1984, 1-888-MITUTOYO (1-888-648-8869). 2009.
40. Sheen S, Bao G, Cooke P. Food surface texture measurement using reflective confocal laser scanning microscopy. Journal of food science. 2008; 73(5):E227-E34.
41. Kessels PHL. Engineering toolbox for structural-acoustic design applied to MRI-scanners. 2003.