بررسی تجربی ضریب اصطکاک در لوله شیاردار و اثر ذرات در کاهش آن

بهاره فیروزآبادی
مربی مرکز تحقیقات آب و انرژی
دانشگاه صنعتی شریف

منوچهر راد
دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی شریف

چکیـــده:

اثر ذرات در کاهش اغتشاش (Turbulence) جریان و به تبع آن کاهش ضریب اصطکاک لوله به صورت تجربی بررسی شده است. آزمایشات در یک لوله شیاردار با قطر هیدرولیکی 18.6 mm که دارای 20 شیار طولی بـه عـمق 1.8 mm می‌باشد، در دو حالت انجام شده است. در یک حالت آب شهر و در حالت دیگر آب حاوی ذرات رس و نیز ذرات پودر سنگ به قطر زیر 63 میکرون از لوله عبور داده شده و در هر حالت افت فشار در طول لوله اندازه گیری شده است. آزمایش در محدوده اعداد رینولدز 5000-30000 انجام شده و نتایج نشـان می‌دهـد که در عدد رینولدز 30000 ، افت (Head loss) در جریان آب حاوی 1.6 Kg/m^3 خاک رس، 15 درصد و برای جریان حاوی ذرات پودر سنگ با غلظت 1.6 Kg/m^3 ، 25 درصد کاهش داشته است. کاهش اصطکاک در لوله را می‌توان مستقیماً به کاهش شدت اغتشاش ربط داده و در نحوه و چگونگی تغییر پدیده‌های موثر در تولید اغتشاش به صورت کیفی بحث کرد.

Experimental Investigation of Friction Coefficient in Ribelted Pipes and The Effect of Fine Prticles

B. Firoozabadi
Lecturer of Water and Energy
Research Center
Sharif University of Technology

M. Rad
Associate Prof.
Mech. Eng. Dept.
Sharif University of Technology

ABSTRACT:

The effect of fine particles on turbulence damping and due to, the reduction of friction coefficient of flows, in ribleted pipe, has been investigated experimentally. Tests have been conducted in a ribleted pipe, with hydraulic diameter of 18.6 mm, and 20 streamwise riblets of 1.8 mm depth, along the pipe.

Flow of water tap, and Reynolds No. of 5000 to 30000 were compared with flows containing silt-clay particles and stone powder of less than 63 mycron sizes.

In the flows containing 1.6 kg/m^3 of stone powder, the pressure drop along the pipe reduced 25 percent, and with flows containing silt-clay particles, the pressure drop reduction was about 15 percent. Reduction of friction, in flows containing fine particles, may be due to interaction of particles and turbulence generated at pipe boundary, and damping of this turbulence, [6].

۱ـ مقدمه

کاهش مصرف انرژی یکی از مهمترین اهداف تحقیقات، در چند دهه اخیر می‌باشد. در حرکت نسبی سیال و جسم، جهت مقابله با نیروی پسای سیال (Drag Force) ، انرژی مصرف‌شده و برای صرفه‌جوئی در مصرف این انرژی، لازم است علاوه بر شناسائی عوامل موثر در این نیرو، در کاهش آن نیز اقدامات اساسی انجام گیرد. در جریان داخل مجاری، مقادیر معتنابهی انرژی صرف پمپاژ جهت انتقال سیالات شده و هنوز روشی که بتواند به نحو موثر و چشمگیر این مصرف را کاهش دهد، به تکنولوژی راه نیافته است. از طرف دیگر نیروی پسا در جریان داخل مجاری بستگی به اصطکاک پوسته‌ای داشته که آنهم از الگوی حاکم بر جریان، که عمدتاً توربولانس و پدیده‌های موثر در آن است، نشات می‌گیرد. عدم موفقیت در حل تئوریک معادلات حرکت در توربولانس، علاوه بر ابداع روشهای گوناگون در حل آنها، پژوهشگران را به روشهای تجربی و مشاهده وقایع ناشی از حرکت سیال در جریان مغشوش درون مجاری سوق داده است. در این راستا علاوه بر کشف روشهای کاهش اصطکاک پوسته‌ای، گامهای مهمی در توضیح خود اغتشاش برداشته شده که می‌توان از افزودن ذرات جامد، حبابهای گاز و یا محلولهای پلیمری جهت کاهش ضریب اصطکاک درون لوله نام برد [1] . در این مقاله اثر ذرات جامد و نتایج آزمایشات انجام شده توسط پژوهشگران ذکر و توضیح داده می‌شود. آنگاه نتایج کار تجربی انجام شده در لوله شیاردار خواهد آمد.

جریان طبیعی رودخانه گل‌آلود، الهام‌بخش نظریه کاهش اصطکاک در جریان حاوی ذرات بوده است. دیده شده زمانی که رودخانه با آب گل‌آلود جریان دارد، دبی و به عبارت دیگر سرعت سیال در عمق یکسان در مقایسه با حرکت آب صاف، بیشتر می‌شود. این پدیده توسط Vannoni [2] بارها آزمایش شده و دریافته شد که وجود ذرات گل و لای (ذرات کمتر از 20 میکرون)، ساختار توربولانس مجاور جدار را تغییر داده، به گونه‌ای که نهایتاً اصطکاک را کاهش می‌دهد. ایرج زندی [3] ، محقق ایرانی، نیز آزمایشات متعددی با ذرات ریز رس، ذرات ماسه، ذغال سنگ، ذغال چوب انجام داده است. وی در همه موارد فوق کاهش میزان افت را در مقایسه با جریان آب خالص گزارش نموده است. نتایج زندی همچنین نشان می‌دهد که کاهش افت به غلظت ذرات و قطر و جنس آنها وابسته است. بطوریکه اگر قطر ذرات بیش از حد معینی گردد، (حدود 100-50 میکرون) وارد کردن آنها اثر معکوس داشته و بر میزان اصطکاک پوسته‌ای خواهد افزود [4]. در این رابطه همچنین می‌توان به نتایج تجربی حاصل از آزمایشات Vukoslavcevic [5] و منوچهر راد [6] اشاره کرد.

از طرف دیگر بررسی رئولوژیستها نشان داده که افزودن مواد به سیال باعث افزایش لزجت مخلوط حاصل می‌شود. این امر سؤالی را در ذهن ایجاد می‌کند که چگونه با وجود افزایش لزجت، در رابطه $\tau = \mu \frac{du}{dy}$ ، تنش، کاهش خواهد یافت. نتایج Marie, J.L. [7] نشان داد که کاهش تنش در جریان حاوی ذرات، نتیجه کاهش شیب سرعت می‌باشد. در این حالت شیب سرعت به مقداری کاهش می‌یابد که علاوه بر جبران افزایش لزجت، نهایتاً می‌تواند تنش را کاهش دهد. به عبارت دیگر وارد کردن ذرات می‌تواند ساختار لایه مرزی را اصلاح نموده و اثر اغتشاش را کاهش دهد. آنگاه در اینجا سوال اصلی ظاهر می‌شود که اغتشاش چیست؟ و ذرات چگونه می‌توانند اغتشاش ناشی از حرکت سیال درون مجرا را مستهلک نموده و از اثرات افت انرژی توسط آن بکاهند.

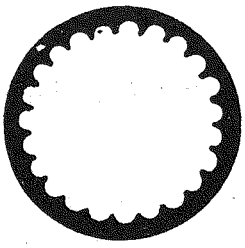
واضح است که افزایش عدد رینولدز در جریان درون مجاری، ایجاد اغتشاش را به دنبال داشته و در اعداد رینولدز بالا، ضریب اصطکاک، دیگر تابعی از عدد رینولدز نبوده و فقط از زبری نسبی اثر می‌پذیرد؛ لذا وجود زبری

خاص، اغتشاش خاص را به دنبال دارد. از طرف دیگر با تغییر شکل زبریها می‌توان اثر اغتشاش را تغییر داده و حتی در حالاتی اغتشاش را تا حدودی مستهلک نمود. [8] Walsh آزمایشات متعددی جهت بررسی اثر انواع زبری در ضریب اصطکاک انجام داد. وی سطوح را با انواع شیارهای طولی و عرضی به شکلهای مختلف آزمایش نمود. این شیارها به شکل V ، V با سر گرد شده، نیم‌دایره و نامنظم بودند. نتایج او نشان می‌دهد که شیارهای V شکل طولی با ارتفاع 0.025 Cm و فاصله دو شیار 0.05 Cm توانسته است در سرعت 11 m/s ، ضریب اصطکاک را 7 درصد کاهش دهد. اگرچه در این مقاله کاهش ضریب اصطکاک به روش ایجاد شیار منظور نظر نیست، اما با ایجاد شیار نوعی اغتشاش خاص ایجاد می‌شود و سپس اثر ذرات در این اغتشاشات بررسی می‌شود که نتایج حاصله، نشان‌دهنده استهلاک زیاد اغتشاشات و اصلاح پروفیل سرعت در لایه مرزی می‌باشد.

۲ـ دستگاه و روش انجام آزمایش

آزمایشات در یک لوله شیاردار با قطر هیدرولیکی 18.6 mm انجام شده است. این لوله دارای ۲۰ شیار طولی بوده و قطر لوله در ریشه شیارها، 22.6 mm و در لبه شیار 19.0 mm بوده است. شکل (۱) مقطع لوله شیاردار را نشان می‌دهد.

دستگاه آزمایش از یک مخزن به حجم $2m^3$ جهت ایجاد هد در ارتفاع 2.5 متری از سطح زمین تشکیل شده است. جریان پس از عبور از یک وانتوری متر جهت اندازه‌گیری دبی و عبور از اتصالات وارد لوله مورد آزمایش می‌شود. طول لوله مورد آزمایش 1 m بوده که افت دو سر آن توسط مانومتر آبی اندازه‌گیری می‌شود. ذرات مورد آزمایش، پودر سنگ با قطر زیر 63 میکرون و ذرات رس با قطر تقریبی زیر 40 میکرون بوده است.

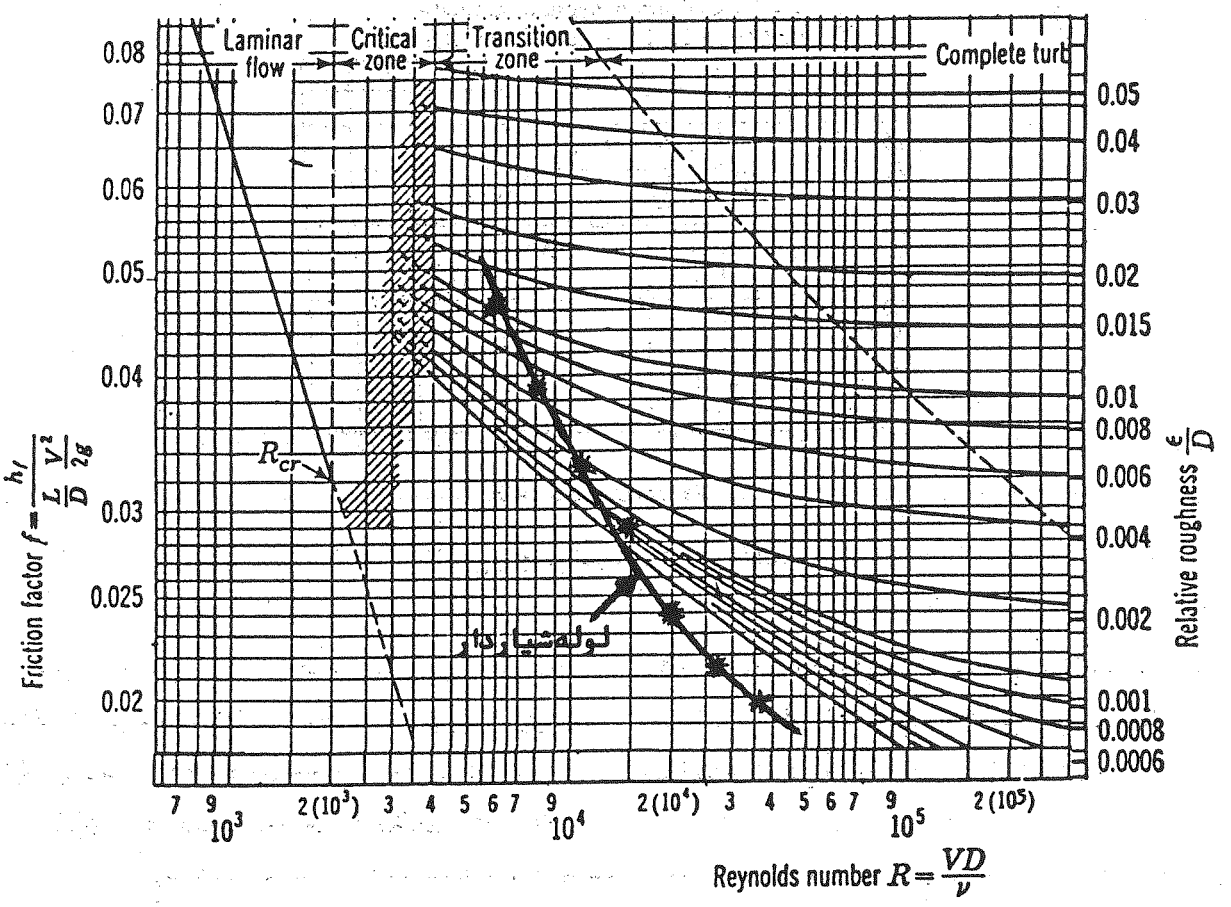


شکل (۱) مقطع لوله شیاردار

۳ـ نتایج حاصل از آزمایش

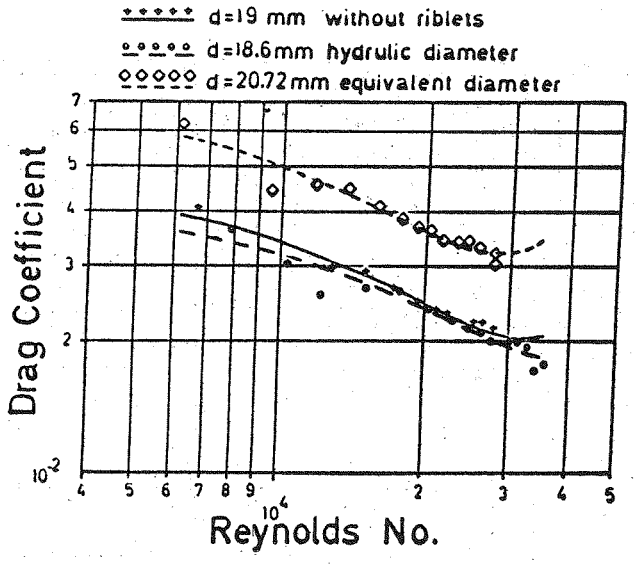
الف ـ آزمایش با آب شهر: جهت بررسی وضعیت اغتشاش ناشی از شکل خاص شیارها، ابتدا آب شهر در لوله آزمایش شده و منحنی f-Re آن جهت مقایسه با نتایج سایر لوله‌ها در شکل (۲) در Moody Chart رسم شده است. متذکر می‌گردد که این منحنی براساس قطر هیدرولیکی رسم شده است.

این منحنی نشان می‌دهد که در اعداد رینولدز پائین (نزدیک ناحیه گذرائی) شیارها اثر منفی داشته و جریان را به شدت مغشوش می‌نمایند، اما در اعداد رینولدز بالا و در ناحیه‌ای که جریان کاملاً مغشوش است، ضریب اصطکاک لوله شیاردار از لوله صاف هم کمتر شده و شیارها توانسته‌اند مانع ایجاد اغتشاش شوند. اگرچه توجیه این امر بدون اندازه‌گیری دقیق مؤلفه‌های سرعت و میزان شدت توربولانس چندان ممکن نیست اما شاید بتوان گفت که وجود شیارها قطر موثر جریان را تغییر داده و باعث کاهش ضریب اصطکاک شده است. به عبارت دیگر ممکن است در اعداد رینولدز بالا، جریان از درون شیارها عبور نکرده و فقط از مقطع داخلی با قطر 19 mm عبور کند. در آن صورت اصطکاک سیال با جدار جامد، تبدیل به سیال با سیال درون شیارها شده و این امر منحنی f-Re را نزولی می‌کند.



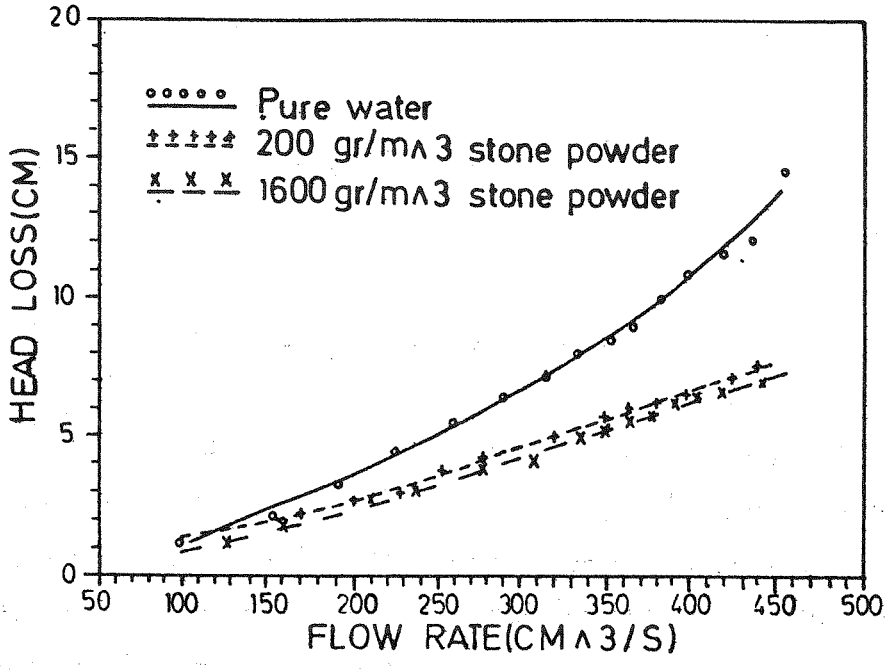
شکل (۲) منحنی ضریب اصطکاک لوله شیاردار

در ادامه همین بحث، برای اینکه اثر قطر در منحنی f-Re مشخص شود، شکل شماره (۳) رسم شده است. در این شکل منحنیها براساس سه قطر هیدرولیکی، قطر لبه‌به‌لبه شیار (19 mm) و قطر معادل (قطر دایره‌ای معادل سطح مقطع واقعی لوله شیاردار) می‌باشد. بجز قطر معادل که تعبیر فیزیکی هم ندارد، قطر هیدرولیکی و قطر لوله از نوک شیارها اثر نسبتاً یکسانی در منحنی f-Re داشته و حتی با قطر 19 mm هم در اعداد رینولدز بالا، زیر منحنی سطح صاف قرار می‌گیرد. این امر احتمال این که در اعداد رینولدز بالا، جریان فقط از مقطع بدون شیار عبور می‌کند، را تقویت می‌نماید.



شکل (۳) اثر قطرها در منحنی f-Re

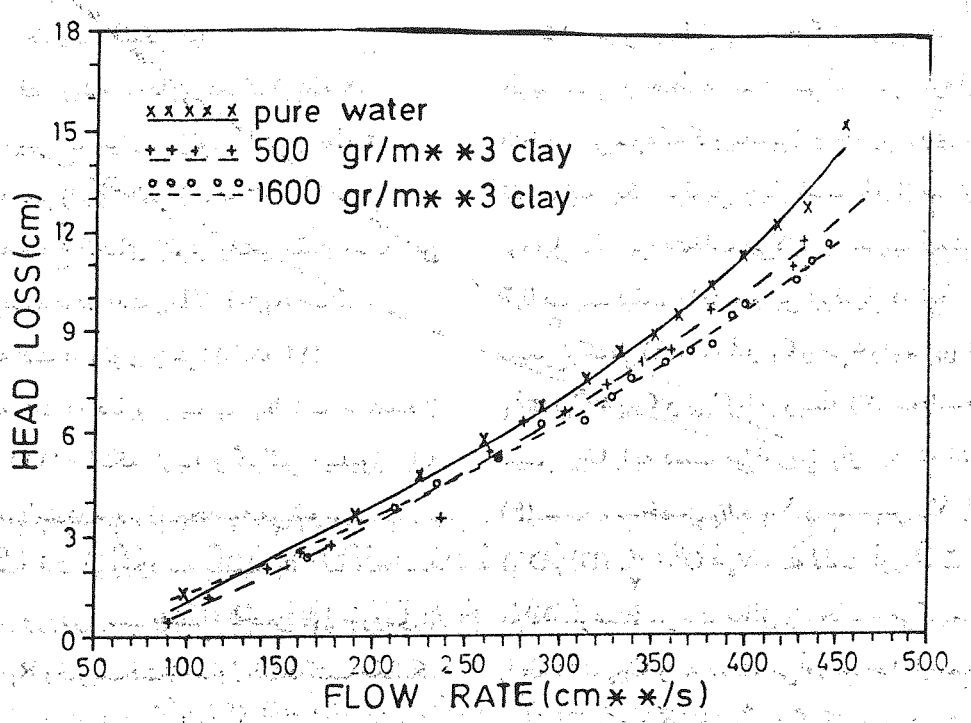
ب ـ برای بررسی اثر پودر سنگ در اغتشاش، ذرات پودر سنگ از مش شماره 230 عبور داده شده و نهایتاً پودری با ذرات به قطر زیر 63 میکرون حاصل شده است. این پودر در آب مخزن ریخته شده و مخلوطی با غلظتهای 200 ، 500 ، 1000 ، 1600 گرم در مترمکعب آب، آزمایش شده است. در این بخش به علت عدم امکان اندازه‌گیری لزجت مخلوطها، مستقیماً از منحنی h-Q استفاده شده است.



شکل (۴) کاهش افت هد در جریان حاوی پودر سنگ در مقایسه با آب شهر در لوله شیاردار

شکل (۴) منحنی h-Q برای جریان حاوی پودر سنگ در دو غلظت 200 ، 1600 گرم بر مترمکعب در مقایسه با آب شهر را در لوله شیاردار نشان می‌دهد. دیده می‌شود که اولاً در هر دو غلظت افت هد در مقایسه با آب شهر به مراتب کاهش داشته است، از طرف دیگر مقایسه غلظتها نشان می‌دهد که با افزایش غلظت، نتایج بهبود یافته و احتمالاً افزایش غلظت تا میزان خاصی باعث کاهش بیشتر افت می‌شود و از آن پس دیگر اثری نداشته و یا اثر منفی خواهد داشت.

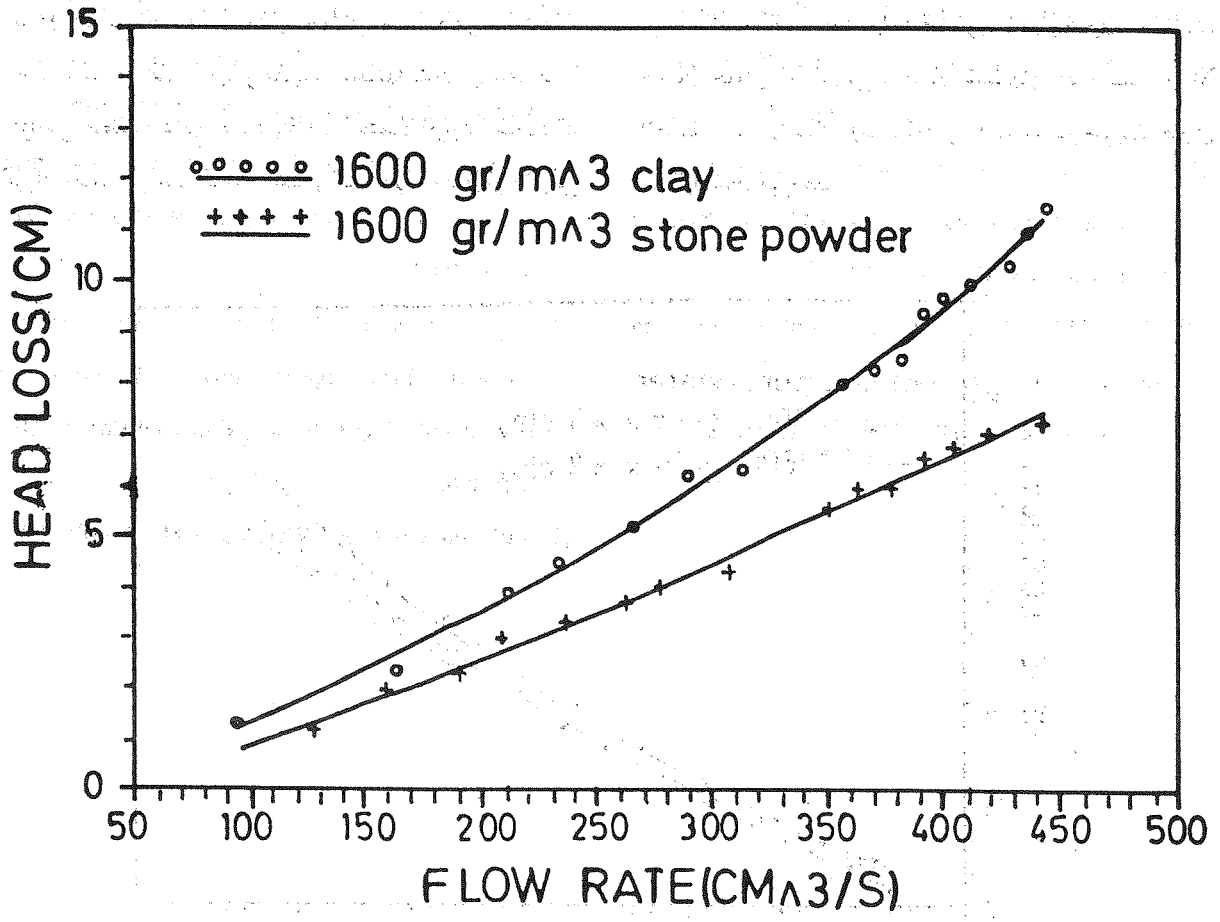
ج - برای بررسی اثر ذرات رس در جریان مشابه پودر سنگ عمل شده است. با این تفاوت که ذرات رس ریزتر از پودر سنگ بوده و حدوداً به قطر زیر 40 میکرون بوده‌اند. جریان حاوی ذرات رس با همان غلظتهای گفته شده در بالا آزمایش شده و شکل (۵) ، کاهش افت هد در جریان حاوی رس را نشان می‌دهد.



شکل (۵) کاهش افت هد در جریان حاوی ذرات رس در مقایسه با آب شهر در لوله شیاردار

از این منحنی نیز دیده می‌شود که، با افزایش غلظت خاک رس در آب، اثر آن در کاهش افت هد بیشتر شده، و در دبی‌های بیشتر (اعداد رینولدز بالاتر) افزایش یافته است.

د - مقایسه اثر پودر سنگ با رس، در شکل (۶) نشان داده شده است. این منحنی فقط در غلظتهای 1600 gr/m^3 رسم شده و مشابه روند این منحنی برای سایر غلظتها وجود دارد. چنانچه از شکل (۶) مشاهده می‌شود، پودر سنگ اثر بیشتری در کاهش افت هد دارد و اختلاف آنها با افزایش دبی افزایش می‌یابد. این اختلاف را می‌توان به قطر ذرات و نیز دانه‌بندی این دو نوع ذره ربط داد. یادآوری می‌شود که از نظر مکانیک خاک، ذرات رس ویفری شکل (مانند دانه عدس) و ذرات پودر سنگ کروی هستند.



شکل (۶) مقایسه اثر پودر سنگ و خاک رس در میزان افت هد.

۴ـ نتیجه گیری

چنانکه دیده شد اولاً وجود شیارهای طولی با شکل خاص می‌تواند تحت شرایطی ضریب اصطکاک لوله را کاهش داده و جریان را از حالت سطح زبر به الگوی جریان روی سطح صاف تبدیل نماید. با توجه به اینکه از این لوله‌ها در مبدلهای حرارتی برای افزایش توربولانس استفاده می‌شود، آزمایش حاضر نشان می‌دهد که این نوع لوله برای این منظور مناسب نبوده و بهتر است از لوله‌هایی با شیارهای عرضی یا مارپیچی استفاده شود. ثانیاً وجود ذرات با قطرهای کم (حدوداً زیر 60 میکرون) می‌تواند افت انرژی در انتقال سیالات را کاهش دهد. به عبارت دیگر ذرات می‌توانند ساختار لایه مرزی را در جهت اصلاح آن تغییر داده و استهلاک اغتشاش را باعث شوند. در این رابطه ذرات مختلف بسته به شکل دانه‌بندی خود، اثرات متفاوتی بر اغتشاش داشته و می‌توانند به گونه‌های مختلف عمل کنند. درک بهتر اثر آنها، نیاز به اندازه‌گیریهای دقیق‌تر داشته و این بررسی می‌تواند به کشف عملکرد اغتشاش در لوله و اندرکنش آن با جدار نیز بیانجامد.

۵ـ منابع

[۱] راد، م.، فیروزآبادی، ب.، حکیم جوادی، م «طراحی و ساخت تونل آب جهت مطالعات مدلی و بررسی روشهای کاهش نیروی پسا» کارنامه پژوهشی دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۶۸.

[2] Vannoni, V. A., Nomicos, G.N., V. 125, 1970

[3] Zandi, I. "Decreased head losses in raw-water conduits", J. of American Water Work Association, V. 59, 1967.

[4] Madavan, N. K.; Merke1, E.L.; Deutsch, S., "Numerical investigation into the mechanism of microbubble drag reduction, J. of fluid Eng, V. 107, Sep. 1985.

[5] Vukoslavcevic, P.; Wallace, J.M.; Balint, J.L., "Viscous drag reduction using Streamwise-aligned riblets", AIAA. J., V. 30, N. 4, 1992.

[۶] راد، م.، فیروزآبادی، ب.، حکیم جوادی، م. «بررسی اثر ذرات و اختلاف دانسیته در ضریب اصطکاک جریان در لوله‌ها و کانالهای باز» کارنامه پژوهشی دانشگاه صنعتی شریف، سال ۱۳۷۰.

[7] Marie, J.L., "A simple analytical formulation for microbubble drag reduction", Pch Physico Chemical Hydrodynamics, V. 8, N.2, 1987.

[8] Walsh, M.J., "Drag Characteristics of V-groove and transverse curvature riblets", Symposium on Viscous Drag Reduction", Dallas, Texas, Nov. 1979.