



پروژه طراحی خط لوله انتقال آب از دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز
به مجتمع امام خمینی (ره)



درس مکانیک سیالات یک
استاد: دکتر سید حسن هاشم آبادی

نویسنده:

دارا رحمت سمیعی

هدف:

هدف از این پروژه طراحی خط لوله و انتخاب جنس و ابعاد لوله، شیرآلات و پمپ به منظور انتقال آب به دبی ۲۰ متر مکعب طی یک ساعت از دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز به مجتمع امام خمینی (ره) می باشد.

مقدمه

در هر پروژه‌ی مهندسی ملاحظات اقتصادی از مهمترین فاکتورهای طراحی و انتخاب مواد و ابزار است. مجموع هزینه‌ها به هزینه‌های ثابت و جاری تقسیم می گردند. در پروژه طراحی خط لوله‌ی آب هزینه‌های ثابت شامل خرید لوله و اتصالات، رنگ کاری، اجرا و خرید پمپ است و هزینه‌های جاری چنین پروژه‌ای شامل هزینه نگهداری، تعمیر لوله و هزینه‌های مربوط به مصرف برق پمپ می شود.

در طراحی سیستم لوله‌کشی باید به موارد متعددی توجه کرد. چندی از مهمترین این موارد شامل نکات زیر می باشد:

- انتخاب جنس مناسب لوله
- آثار تغییر دما
- انعطاف پذیری سیستم در برابر شوک های حرارتی و فیزیکی
- امکان بازدید، تعمیر و نگهداری از لوله

مسیر لوله

لوله‌های اصلی انتقال آب و یا گاز را زیر خاک قرار می دهند. یکی از دلایل این کار، عایق خوب گرما بودن خاک است. نصب لوله در زیر زمین از تغییرات شدید حرارتی خط انتقال سیال جلوگیری می کند.

در نگاه اول بهترین مسیر خط لوله مسیر مستقیم می باشد. تصویر ۱

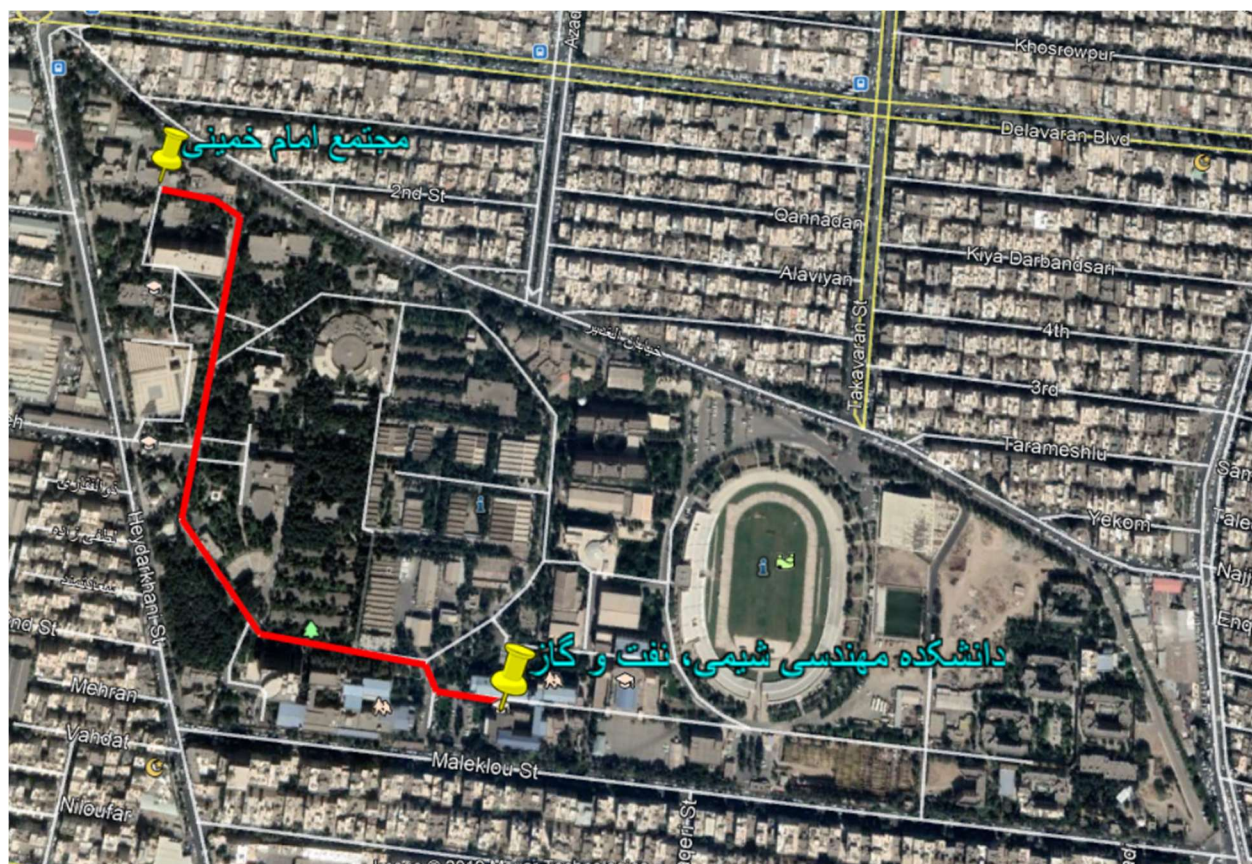


تصویر ۱: مسیر مستقیم

اما این مسیر از زیر ساختمان‌ها و پارک‌ها رد می‌شود و این امر چند مشکل اساسی ایجاد می‌کند:

- کندن زیر ساختمان‌ها و نصب لوله در زیر آن‌ها بسیار پرهزینه و مشکل است.
- امکان بازدید، بررسی، تعمیر و نگه داری لوله سخت و ناممکن می‌شود.
- در حین کار نصب لوله ممکن است به ساختمان‌ها صدمه وارد شود.

پس ما تصمیم گرفتیم خط لوله را مطابق بر خیابان‌های دانشگاه طراحی کنیم. که تصویر ۲ مشاهده می‌شود.



تصویر ۲: مسیر طراحی پیشنهادی ۱

برای این طراحی مشکلی وجود دارد چرا که در بازار، زانویی‌های استاندارد فقط برای زوایای ۴۵ و ۹۰ درجه موجود هستند. در حالی که در تصویر ۲ دیده می‌شود زانویی‌ها، زوایای مختلفی دارند. ساخت و طراحی زانویی‌های غیراستاندارد پرهزینه است و در گذر زمان جایگزین کردن آن‌ها در صورت استهلاک هزینه‌های اضافی ایجاد می‌کند.

پس مسیری را انتخاب کردیم که تمامی زانویی‌ها در آن دارای زاویه ۹۰ درجه باشند. تصویر ۳



تصویر ۳: مسیر طرح نهایی

ما با استفاده از برنامه ی Google Earth Pro این مسیر را طراحی کردیم.

بر طبق داده‌هایی که برنامه به ما می‌دهد، ارتفاع دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز از دریا ۴۳۱۷ فوت معادل ۱۳۱۵ متر و ارتفاع مجتمع امام خمینی از دریا ۴۳۶۱ فوت معادل ۱۳۲۹ متر می‌باشد. همچنین فاصله مستقیم دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز از مجتمع امام خمینی (ره) ۲۱۵۰ فوت معادل ۶۵۵ متر است. مجموع خط قرمز که طول لوله مورد نیاز ما می‌باشد ۰.۵۶ مایل معادل ۹۰۱ متر می‌شود.

$$Z_1 = 1315 \text{ m}$$

$$Z_2 = 1329 \text{ m}$$

$$L = 901 \text{ m}$$

انتخاب جنس لوله

در ساخت لوله‌ها معمولاً از موادی چون فولاد، چدن، مس، آلومینیوم، نیکل، سرب، پلاستیک و یا سیمان استفاده می‌کنند. انتخاب جنس لوله بر اساس هزینه‌ی لوله، شرایط سیال گذرنده، خواص خوردگی و شرایط عملیاتی صورت می‌گیرد. از جمله ویژگی‌های مهمی که باید به آن توجه کرد زبری و ضریب انبساط لوله می‌باشد. در جداول زیر زبری و ضریب انبساط حرارتی جنس‌های مختلف لوله آورده شده است.

جدول ۱- ضریب انبساط حرارتی

Material	$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Aluminum	23.1
Carbon Steel	11.7
Cast Iron	10.6
Copper	16.8
Stainless Steel	17.9
ABS Acrylonitrile butadiene	63.0
HDPE High density polyethylene	120.0
PE Polyethylene	150.0
CPVC Chlorinated polyvinyl chloride	79.0
PVC Polyvinyl chloride	50.4

جدول ۲- زبری مواد

نوع لوله	زبری مطلق (mm)	نوع لوله	زبری مطلق (mm)
مسی	0.0015	شیشه ای	0.0015
برنجی	0.0015	آلومینیومی	0.0015
پلاستیکی	0.0015	مفرقی	0.0015
فولادی - بی درز	0.025	فولادی - جوشکاری شدی	0.06
فولادی - پرچ شده	3	چدی - بدون روکش	0.25
آهنی - گالوانیزه	0.15	آهنی - آهنگری شده	0.06
بتنی - بدون اندود	0.4	بتنی - صیقلی	0.075

با رجوع به منابع مختلف و همچنین با توجه به شرایط محیطی تهران، طبق استانداردهای ملی لوله سازمان آبیاری ایران جنس لوله های انتقال آب PVC پیشنهاد شده است.

زبری لوله های پلی اتیلن کلرید 0.0015 میلی متر و ضریب انبساط آن 50.4×10^{-6} متر بر سانتی گراد می باشد.

آثار تغییر دما

باید توجه داشت که لوله با تغییر دما تغییر اندازه می دهد. لوله های پلی اتیلن به ازای هر درجه سانتی گراد 50.4×10^{-6} متر تغییر اندازه می دهند. در تهران در طول سال های اخیر کمترین دما منفی ۵ درجه سانتی گراد و بیشترین این سال ها ۴۰ درجه سانتی گراد بوده است که در مجموع ۴۵ درجه سانتی گراد تغییر دمایی در سال ممکن است وجود داشته باشد.

که با توجه به اندازه طول ۹۰۱ متری لوله و تغییر دمایی حد اکثر ۴۵ درجه ای و ضریب انبساط PVC داریم:

$$\Delta L = a.L.\Delta T$$

$$a = 50.4 \times 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$$

$$L = 901 \text{ m}$$

$$\Delta T = 45 ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta L = 50.4 \times 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C} \times 901 \text{ m} \times 45 ^{\circ}\text{C} = 2.04 \text{ m}$$

سیستم لوله کشی باید به صورتی طراحی شود که این میزان تغییر اندازه را تحمل کند.

آثار زلزله

تهران شهری بنا شده بر روی گسل می باشد و احتمال وقوع زلزله همیشه وجود دارد. باید در ساخت و طراحی خط لوله به این امر توجه شود و تدابیر لازم اندیشیده شود.

محاسبات

معادله برنولی به صورت زیر می‌باشد:

$$h_p + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{U_1^2}{2g} + z_1 = z_2 + \frac{U_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + h_f$$

h_p = هد پمپ

P_1 = فشار هوا در دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز

U_1 = سرعت آب در دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز

z_1 = ارتفاع دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز از سطح دریا

h_f = هد پمپ

P_2 = فشار هوا در مجتمع امام

U_2 = سرعت آب در مجتمع امام

z_2 = ارتفاع مجتمع امام از سطح دریا

سرعت آب در طول مسیر تغییری نمی‌کند و همچنین تفاوت فشار هوا در مبدا و مقصد ناچیز است، پس:

$$h_p + z_1 = z_2 + h_f$$

هد تلفات از معادله زیر به دست می‌آید:

$$h_f = \frac{U^2}{2g} \left(\frac{fL}{D} + \sum K \right)$$

f = ضریب اصطکاک لوله

D = قطر لوله

U = سرعت آب

L = طول لوله

K = مجموع ضرایب تلفات

در این سیستم لوله‌کشی ما از شش عدد زانویی ۹۰ درجه‌ای Long Radius استفاده کردیم. با توجه به مراجع داریم:

جدول ۳- ضریب تلفات انواع خمیدگی لوله

Fitting	Types	K
۴۵° Elbow	Standard (R/D = 1)	۰٫۳۵
	Long Radius (R/D = 1.5)	۰٫۲
۹۰° Elbow Curved	Standard (R/D = 1)	۰٫۷۵
	Long Radius (R/D = 1.5)	۰٫۴۵
۹۰° Elbow Square or Mitred		۱٫۲
۱۸۰° Bend	Close Return	۱٫۵

$$\sum K = 6 \times 0.45 = 2.7$$

داده‌های دیگری که در دست داریم:

$$L = 901 \text{ m}$$

$$Q = 20 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\mu = 0.001 \text{ Pa.s}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$Z_1 = 1315 \text{ m}$$

$$Z_2 = 1329 \text{ m}$$

برای محاسبه‌ی قطر لوله از معادله زیر استفاده می‌کنیم:

$$Q = U.A$$

$$A = \pi D^2/4$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi U}}$$

برای محاسبه ضریب اصطکاک نیز از معادله فون کارمن استفاده می‌کنیم:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3.7D} \right)$$

ما محاسبات لازم برای تعیین هد تلفات، قطر لوله، رینولدز جریان و ضریب اصطکاک از زبان برنامه نویسی Python و

برنامه Jupyter Notebook استفاده کردیم. (در پیوست کدهای مربوط به محاسبات و نمودار آمده است)

با مراجعه به مراجع سرعت مناسب برای آب بین ۱ تا ۳ متر بر ثانیه پیشنهاد شده است. پس ما هدر تلفات، قطر لوله، رینولدز جریان و ضریب اصطکاک برای گستره‌ی ۱ تا ۳ متر بر ثانیه سرعت را محاسبه کردیم. و مقدار هر کدام بر اساس سرعت را رسم کردیم.

نتایج به دست آمده به شرح زیر می‌باشد:

$$h_f = 5.12 \text{ m}$$

$$D = 0.0841 \text{ m} = 84.1 \text{ mm}$$

$$f = 0.00884$$

$$Re = 81581$$

با توجه به قطر به دست آمده و جدول ۴، لوله با قطر خارجی ۹۰ میلیمتر پیشنهاد می‌شود.

جدول ۴ - اندازه‌های استاندارد قطر لوله‌های PVC

PVC-U Pipe						
Pressure	0.63MPa	0.8MPa	1.0MPa	1.25MPa	1.6MPa	2.0MPa
Outer Diameter	Thickness	Thickness	Thickness	Thickness	Thickness	Thickness
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
20	*	*	*	*	*1.5	2
25	*	*	*	1.5	2	2.3
32	*	*	*1.6	2	2.4	2.9
40	*	*1.6	2	2.4	3	3.7
50	*1.6	2	2.4	3	3.7	4.6
63	2	2.5	3	3.8	4.7	5.8
75	2.3	2.9	3.6	4.5	5.6	6.9
90	2.8	3.5	4.3	5.4	6.7	8.2
110	2.7	3.4	4.2	5.2	6.6	8.1
125	3	3.9	4.8	6	7.4	9.2
140	3.4	4.3	5.4	6.7	8.3	10.3
160	3.9	4.9	6.2	7.7	9.5	11.8
200	4.9	6.2	7.7	9.6	11.9	14.7
225	5.5	6.9	8.6	10.8	13.4	16.6
250	6.1	7.7	9.6	11.9	14.8	18.4
315	7.7	9.7	12.1	15	18.7	20.6
355	8.7	10.9	13.6	16.9	21.1	
400	9.8	12.3	15.3	19.1	23.7	

همچنین با توجه به معادله‌ی محاسبه هدر پمپ، حداقل هدر پمپ لازم ۱۹.۱۲ متر می‌باشد.

$$h_p = (z_2 - z_1) + h_f = 1329 - 1315 + 5.12 = 19.12 \text{ m}$$

با توجه به جدول ۵، پمپ ردیف ۱۵ پیشنهاد می‌شود، البته ضریب تلفات تفاوت قطر ورودی پمپ و لوله نیز باید در هد تلفات محاسبه شود. با توجه به مشخصات پمپ هد تلفات تفاوت قطر لوله و ورودی و خروجی پمپ قابل صرف نظر کردن است.

جدول ۵- مشخصات انواع پمپ

ردیف	مدل	ولتاژ و فاز	RPM	توان موتور P _r KW	توان موتور P _r HP	شدت جریان	حداکثر هد (متر)	حداکثر دبی (متر مکعب در ساعت)	قطر دهانه ورودی خروجی
1	TP 25-90/2 1PH	1x 220/240	2770	0/37	0/5	2.95/2.70	10/07	12	1"
2	TP 25-90/2 3PH	3x380-415Y	2880	0/37	0/5	1/00	10/58	12/32	1"
3	TP 32-60/2 1PH	1x 220/240	2880	0/25	0/35	1.75/2.04	5	11	1¼"
4	TP 32-60/2 3PH	3x380-415Y	2800	0/25	0/34	0/68	5	11	1¼"
5	TP 32-120/2 1PH	1x 220/240	2770	0/37	0/5	2.95/2.70	9/61	13	1¼"
6	TP 32-120/2 3PH	3x380-415Y	2880	0/37	0/5	1/00	9/55	13	1¼"
7	TP 32-150/2 1PH	1x 220/240	2770	0/37	0/5	2.95/2.70	14/37	8/5	1¼"
8	TP 32-150/2 3PH	3x380-415Y	2880	0/37	0/5	1/00	14/23	8/5	1¼"
9	TP 32-180/2 1PH	1x 220/240	2750	0/55	0/75	4/3.65	16/59	9	1¼"
10	TP 32-180/2 3PH	3x380-415Y	2850	0/55	0/75	1/44	16/59	9	1¼"
11	TP 32-200/2 3PH	3x380-415Y	2870	1/1	1/5	2/50	20	15/45	1¼"
12	TP 32-230/2 1PH	1x220-230/240	2780	0/75	1	5.10/4.75	23/24	9/64	1¼"
13	TP 32-230/2 3PH	3x380-415Y	2870	0/75	1	1/90	23	9/71	1¼"
14	TP 32-250/2 3PH	3x380-415Y	2910	1/5	2	3/15	24	18	1¼"
15	TP 32-320/2 3PH	3x380-415Y	2910	2/2	3	4/45	30/58	21	1¼"
16	TP 32-380/2 3PH	3x380-415Y	2920	3	4	6/30	37/7	23/14	1¼"

منابع

- هاشم آبادی، سید حسن، مکانیک سیالات، تهران، ۱۳۹۳ ش.
- هاشم آبادی، سید حسن، تعیین مشخصات و انتخاب دستگاه‌ها، تهران، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۹۳ ش.
- استانداردهای ملی سازمان آیفای ایران

In [1]: *# این بخش پکیج هایی که از آن ها استفاده می کنیم را وارد می کنیم*

```
import math
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
%matplotlib inline
```

In [2]: *# دبی لازم را که بیست متر مکعب در روز است را به سیستم استاندارد تبدیل می کنیم*
#

```
Q = 20 / ( 60 * 60)
print('Q = {} m^3/s'.format(round(Q,6)))
```

Q = 0.005556 m^3/s

In [3]: *# تابعی تعریف می کنیم که بر اساس دبی و سرعت جریان قطر لوله را به ما برمی گرداند*

```
# Q : دبی سیال
# U : سرعت سیال

def diameter(Q, U):
    return math.sqrt((4 * Q) / (math.pi * U))
```

In [4]: *# حال تابعی می نویسیم که عدد رینولز را به ما بدهد*

```
# ro : جرم حجمی
# U : سرعت سیال
# miu : ویسکوزیته سیال
# D : قطر لوله

def Reynolds(ro, U, miu, D):
    return (ro * U * D) / miu
```

In [5]: *# تابعی می نویسیم که بر اساس زبری قطر لوله و عدد رینولز ضریب اصطکاک را حساب کند*
برای جریان های آرام از رابطه دارسی و برای جریان های ناآرام از رابطه فون کارمن استفاده می کنیم

```
def friction_factor(Re, e, D):
    rel_e = e/D
    if Re <= 2100:
        return (64 / Re)

    elif Re > 2100:
        x = -2.0 * math.log(rel_e / 3.7, 10)
        return 1/(x**2)
```

In [6]: *# با استفاده از ضریب اصطکاک، طول خط لوله، قطر لوله، سرعت سیال و مجموع ضرایب تلفات ه د تلفات کل را تعیین می کنیم*

```
def Pressure_Loss(f, L, D, U , K):
    g = 9.81
    return ((U ** 2) / (2 * g)) * ( ((f * L) / D) + K )
```


In [7]: *# ثوابت از جمله جرم حجمی، ویسکوزیته آب و زبری لوله را تعریف می کنیم*

```
ro = 970                # kg/m^3
miu = 0.001             # Pa.s
e = 0.0015 * (10**-3)   # 0.000 000 15 m
L = 901                 # m
sum_K = 6 * 0.45
```

In [8]: `data = np.linspace(1,3,200)`
`df = pd.DataFrame({'U (m/s)' : data})`

In [9]: `df['D (m)'] = df.apply(lambda x: diameter(Q, x['U (m/s)']), axis = 1)`

In [10]: `df['Reynolds'] = df.apply(lambda x: Reynolds(ro, x['U (m/s)'], miu, x['D (m)']), axis = 1)`

In [11]: `df['f'] = df.apply(lambda x: friction_factor(x['Reynolds'], e, x['D (m)']), axis = 1)`

In [12]: `df['Pressure_Loss (m)'] = df.apply(lambda x: Pressure_Loss(x['f'], L, x['D (m)'], x['U (m/s)'], sum_K), axis = 1)`

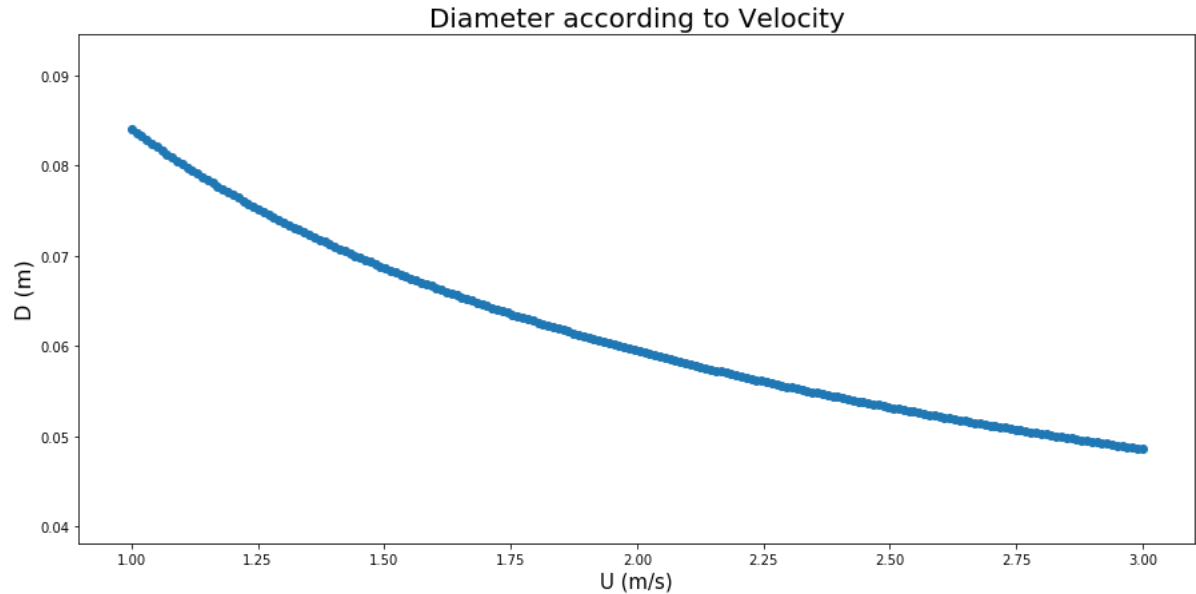
In [13]: `df.head(10)`

Out[13]:

	U (m/s)	D (m)	Reynolds	f	Pressure_Loss (m)
0	1.000000	0.084104	81581.284879	0.008843	5.119164
1	1.010050	0.083685	81990.216187	0.008851	5.251318
2	1.020101	0.083272	82397.118022	0.008858	5.385536
3	1.030151	0.082864	82802.020304	0.008865	5.521829
4	1.040201	0.082463	83204.952222	0.008872	5.660209
5	1.050251	0.082068	83605.942267	0.008879	5.800687
6	1.060302	0.081678	84005.018244	0.008886	5.943276
7	1.070352	0.081293	84402.207306	0.008893	6.087985
8	1.080402	0.080914	84797.535968	0.008900	6.234828
9	1.090452	0.080541	85191.030127	0.008906	6.383814

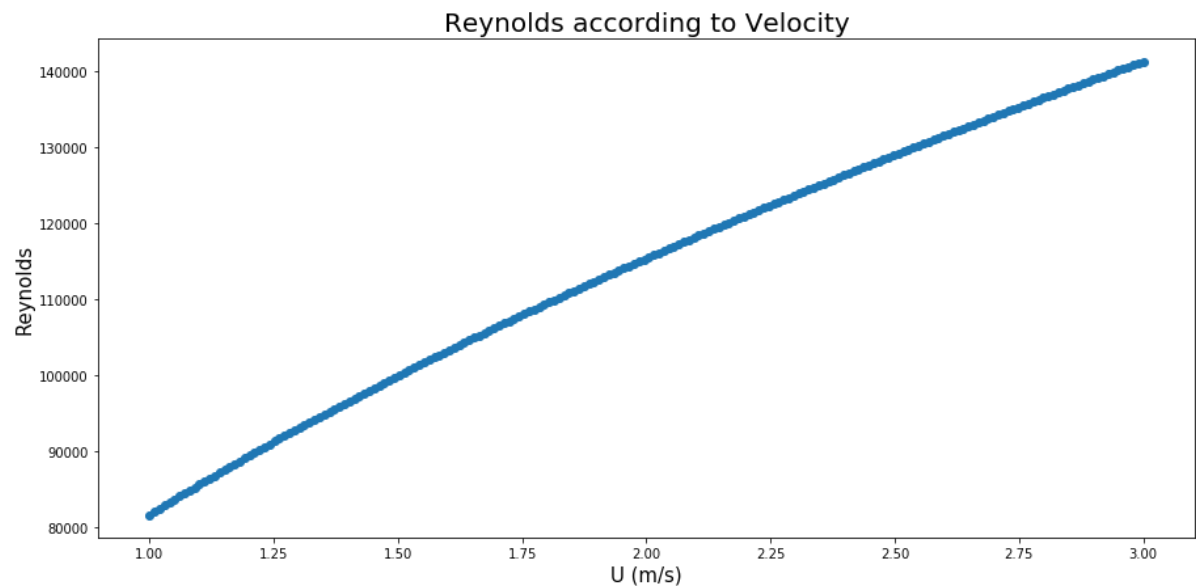
```
In [14]: plt.figure(figsize = (15, 7))
plt.xlabel('U (m/s)', {'fontsize':15})
plt.ylabel('D (m)', {'fontsize':16})
plt.title('Diameter according to Velocity', {'fontsize':20})
plt.scatter(df['U (m/s)'],df['D (m)'])
```

Out[14]: <matplotlib.collections.PathCollection at 0x11505c10>



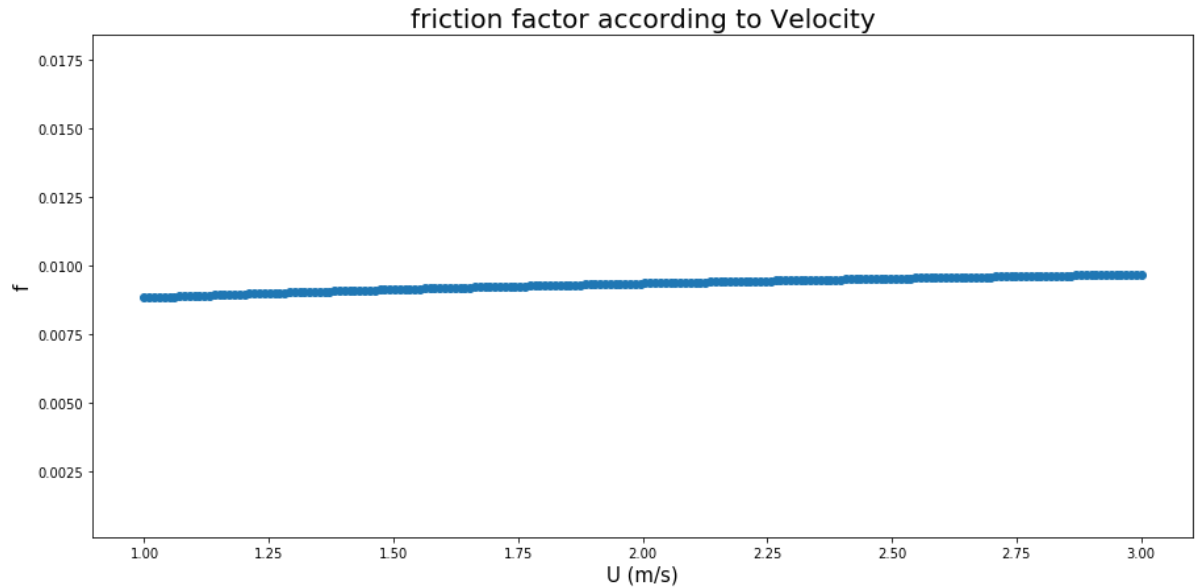
```
In [15]: plt.figure(figsize = (15, 7))
plt.xlabel('U (m/s)', {'fontsize':15})
plt.ylabel('Reynolds', {'fontsize':15})
plt.title('Reynolds according to Velocity', {'fontsize':20})
plt.scatter(df['U (m/s)'],df['Reynolds'])
```

Out[15]: <matplotlib.collections.PathCollection at 0x117b2750>



```
In [16]: plt.figure(figsize = (15, 7))
plt.xlabel('U (m/s)', {'fontsize':15})
plt.ylabel('f' , {'fontsize':15})
plt.title('friction factor according to Velocity', {'fontsize':20})
plt.scatter(df['U (m/s)'],df['f'])
```

Out[16]: <matplotlib.collections.PathCollection at 0x119a0550>



```
In [17]: plt.figure(figsize = (15, 7))
plt.xlabel('U (m/s)', {'fontsize':15})
plt.ylabel('lost head (m)' , {'fontsize':15})
plt.title('lost head according to Velocity', {'fontsize':20})
plt.scatter(df['U (m/s)'],df['Pressure_Loss (m)'])
```

Out[17]: <matplotlib.collections.PathCollection at 0x117979b0>

