



## بررسی تجربی عملکرد یک افشانک گریز از مرکز با ورودی‌های مماسی

سید مصطفی حسینعلی‌پور<sup>1\*</sup>، حدیثه کریمایی<sup>2</sup>، فتح‌اله امی<sup>3</sup>

1- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

2- دانشجوی دکترا، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

2- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

\* تهران، کد پستی 16846-13114. alipour@iust.ac.ir

### اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 08 تیر 1393

پذیرش: 15 تیر 1393

ارائه در سایت: 02 مهر 1393

کلید واژگان:

افشانک گریز از مرکز

طراحی افشانک

دستگاه آزمون پاشش

بررسی عملکرد افشانک

چتر پاشش

### چکیده

پنج نمونه از یک نوع افشانک گریز از مرکز یک پایه با عملکرد دوفازی که طراحی و با روش تراشکاری دقیق ساخته شده است مورد آزمون قرار گرفته است. این افشانک به صورت جریان چرخشی است و یک حفره هوا در مرکز آن شکل می‌گیرد، از این رو چتر پاششی به صورت مخروط توخالی نازک ایجاد می‌کند. آزمون‌های بررسی عملکرد به منظور تعیین منحنی مشخصه، توزیع حجمی پاشش و زاویه مخروط پاشش افشانک‌ها و تشخیص افشانک قابل قبول در آزمایشگاه انجام شده است. مراحل و روش بررسی عملکرد به کمک آزمون تجربی به صورت کامل بیان گردیده و نتایج با مقادیر طراحی مقایسه شده است. در نهایت یک افشانک به عنوان افشانک مناسب و نزدیک‌ترین به تئوری (طراحی) انتخاب شده است.

## Experimental characterization of a swirl injector with tangential inlets

Seyed Mostafa Hosseinalipour<sup>1\*</sup>, Hadiseh Karimaei<sup>1</sup>, Fathollah Ommi<sup>2</sup>

1-Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

\* P.O.B. 16846-13114 Tehran, Iran, alipour@iust.ac.ir

### ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper  
Received 29 June 2014  
Accepted 06 July 2014  
Available Online 24 September 2014

**Keywords:**  
Swirl injector  
Injector Design  
Atomization Setup  
Characterization  
Spray Cone

### ABSTRACT

5 samples of one kind of one-fluid swirl injector which has been designed and manufactured by CNC have been tested. Mentioned injector has a spray cone in the shape of very thin layer because an air core is formed inside the injector. In order to detect acceptable injector among them, characterization tests have been done in the laboratory for all. The methods of experimental characterization have been described in detail. In these tests, injection uniformity, symmetry, mass flow rate versus pressure difference and some other parameters such as spray cone angle are investigated. The results show good agreement between theoretical predictions and experiment. Finally, one injector has been selected as a suitable and nearer to theoretical design injector among them.

### 1- مقدمه

سیال دارد. سلام [3] شکست اولیه توربولانی جت را به کمک روش‌های تجربی مورد بررسی قرار داد. پارک و لی [4] و ونگ [5] با استفاده از سیستم PDPA سرعت و قطر قطرات پاشش را اندازه‌گیری کردند. همچنین نقید و همکاران [6] مطالعه تحلیلی و تجربی روی شکست لایه مایع انجام دادند و اثرات شکل افشانک و فشار افشانه را بر مشخصه‌های لایه مایع بررسی کردند.

در تحقیق حاضر، یک افشانک گریز از مرکز که بر اساس روش بایول [7] طراحی و ساخت داخل شده است، مورد آزمون قرار می‌گیرد. به دلیل خطاهای ساخت و همچنین تکرار ناپذیر بودن صافی سطح داخلی نازل افشانک، پنج نمونه یکسان از یک نقشه تهیه شده و تلاش شده است تا به کمک روش‌های بررسی عملکرد<sup>3</sup> افشانک‌ها، افشانک مناسب برای انجام

فرایند قطره افشانی<sup>1</sup> را می‌توان فرایندی که در آن حجمی از مایع به تعداد زیاد قطره تبدیل می‌شود، تعریف کرد. وارد شدن سیال با سرعت زاویه‌ای بالا به درون محفظه چرخش افشانک، باعث ایجاد چرخش در آن می‌شود که در نتیجه یک افشانه<sup>2</sup> به صورت لایه نازک سیال که به صورت یک صفحه مخروطی شکل توخالی پخش می‌شود تولید می‌شود [1].

برتومی و همکاران [2] با استفاده از تکنیک تصویربرداری به توصیف شکست لایه سیال حلقوی و صفحه‌ای پرداختند. آنها نشان دادند در لایه سیال حلقوی بدون حضور جریان هوا، اثرات کشش سطحی تمال به بستن استوانه

1- Atomization  
2- Spray

3- Characterize

Please cite this article using:

S.M. Hosseinalipour, H. Karimaei, F. Ommi, Experimental characterization of a swirl injector with tangential inlets, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 10, pp. 59-62, 2014 (In Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

S.M. Hosseinalipour, H. Karimaei, F. Ommi, Experimental characterization of a swirl injector with tangential inlets, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 10, pp. 59-62, 2014 (In Persian)

آزمون‌های ذره‌بینی<sup>1</sup> افشانک انتخاب گردد.

### 2- افشانک گریز از مرکز یک پایه

افشانک مورد مطالعه بر اساس روش بایول طراحی شده است. مشخصات عملکردی این افشانک به صورت جدول 1 است. 5 نمونه از این افشانک ساخته شده است و شمایی از آن در نرم‌افزار سالید ورک<sup>2</sup> ترسیم شده که به صورت شکل 1 می‌باشد. در این شکل تصویری از افشانک ساخته شده در دو نمای متفاوت به همراه پیچ آب‌بند انتهایی، قابل مشاهده می‌باشد.

### 3- آزمون بررسی عملکرد افشانک

در این بخش روش‌های بررسی عملکرد افشانک (شامل تعیین منحنی مشخصه، توزیع حجمی پاشش و زاویه مخروط پاشش) به منظور بررسی عملکرد آنها، معرفی شده‌اند و نتایج آزمایش‌های تجربی ارائه شده‌اند.

### 3-1- روش

مشخصه‌های عملکردی طراحی افشانک عبارتند از [8,7]:

- دبی جرمی افشانک  $m_j$
- اختلاف فشار دو طرف افشانک ( $\Delta p$ )
- زاویه راس مخروط پاشش ( $2\alpha$ )
- پاشش یکنواخت سیال در محفظه یا ثابت دبی پاشش
- پاشش یکسان سیال روی چتر پاشش

در آزمایشگاه معمولاً افشانک را با آب آزمون می‌کنند لذا مشخصات سیال در محاسبات همان مشخصات آب است که می‌بایست با در نظر گرفتن دمای محیط آزمایشگاه بکار رود. ضریب دبی و زاویه راس چتر پاشش در آزمایشگاه قابل تعیین است که با مقدار طراحی مقایسه می‌شود. در صورت نزدیک بودن، کیفیت افشانک از این نظر مورد تایید است.

برای آزمون یکنواختی پاشش از یک ظرف مدل شعبه‌ای به صورت کل 2 استفاده می‌شود [8,1]. همچنین در شکل 3 یک ظرف مدل قطاعی مشاهده می‌شود که یکنواختی چگالی محیطی جت سیال را می‌توان به کمک آن بررسی نمود [8,7]. در تحقیق حاضر از مدل 6 قطاعی استفاده شده است. غیر یکنواختی محیطی به صورت رابطه (1) تعریف می‌شود:

$$I = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{q} \times 100 [\%] \quad (1)$$

که در آن  $q$  چگالی مایع می‌باشد. به منظور مقایسه‌پذیری نتایج، سیال باید در فاصله یکسان از افشانک و در اختلاف فشار مشابه جمع شود.

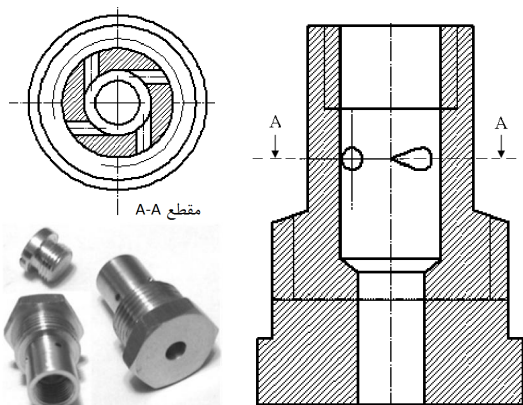
معمولاً آزمون در چهار سطح فشار انجام می‌گیرد و نمودار توزیع چتر پاشش برای فشارهای مختلف ترسیم می‌شود [8,7]. با رسم نمودارهای توزیع جرم یا حجم، می‌توان متقارن بودن پاشش را بررسی نمود. همچنین می‌توان نمودار تجربی دبی جرمی نسبت به فشار در افشانک را رسم کرد.

این منحنی برای همه افشانک‌های ساخته شده باید ترسیم و مقایسه شوند و هرکدام که تمایز زیادی با بقیه داشت از رده خارج دانست. با افزایش فشار دبی به سمت مقدار ثابتی میل خواهد نمود.

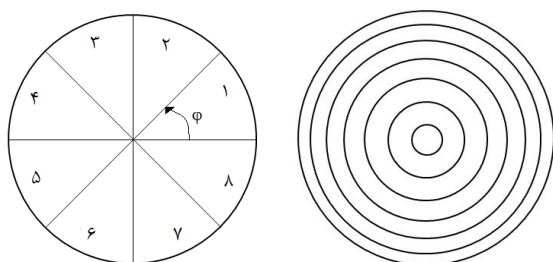
جدول 1 مشخصات عملکردی طراحی افشانک

ضخامت لایه سیال $t$ (mm)	زاویه پاشش $2\alpha$ (deg)	فشار تزریق $\Delta p$ (bar)	دبی جرمی $m_j$ (kg/s)
0/4	100	4/5	≈0/06

1- Microscopic  
2- Solid Work

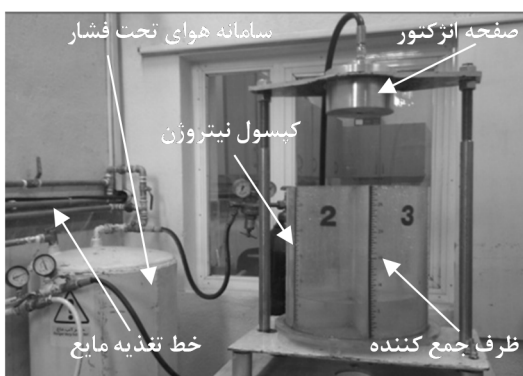


شکل 1 شماتیک افشانک طراحی شده به همراه دو نمای متفاوت یک نمونه از افشانک ساخته شده به همراه پیچ آب‌بند انتهایی



شکل 3 جمع کننده قطاعی

شکل 2 جمع کننده شعبه‌ای



شکل 4 تصویر دستگاه آزمون پاشش (آزمایشگاه پیشرانس تربیت مدرس)

### 3-2- معرفی سامانه آزمون پاشش

دستگاه آزمون پاشش از پنج مجموعه اصلی مطابق با آنچه در شکل 4 نشان داده شده است، تشکیل شده است.

### 3-3- نتایج آزمایش‌های تجربی

همه پنج افشانک به نوبت بر روی صفحه افشانک که در شکل 4 نشان داده شده است، نصب شده‌اند. کنترل پاشش بر اساس تنظیم فشار و سپس باز نمودن شیر کنترل انجام می‌گیرد. برای اندازه‌گیری دبی حجمی با اندازه‌گیری زمان عبور حجم معینی از سیال جمع شده در ظرف به وسیله کرومومتر، دبی محاسبه شده است. برای افزایش دقت در محاسبه دبی، بازه زمانی پاشش به اندازه کافی طولانی و در هر مرحله برابر 60 ثانیه در نظر گرفته شده است. هر کدام از افشانک‌ها در پنج سطح فشار با دو مرتبه تکرار آزمون شده‌اند یعنی مجموعاً 50 مرحله آزمون انجام گرفته است. در هر مرحله، ارتفاع مایع جمع شده در هر قطاع ثبت گردیده است و برای اندازه‌گیری زاویه پاشش، عکس گرفته شده است.

افشانک‌ها کمتر بوده و زیر 10% است. برای افشانک شماره 2 نیز زیر 20% می‌باشد، اما در افشانک‌های 3، 4 و 5 این میزان خیلی بالاست و عملاً این افشانک‌ها کارایی نداشته و مناسب نیستند.

### 3-3-2- منحنی دبی جرمی بر حسب فشار

همان‌طور که قبلاً گفته شد، با استفاده از کرومومتر و اندازه‌گیری حجم مایع جمع شده در جمع‌کننده، برای هر سطح فشار، دبی جرمی و دبی حجمی قابل محاسبه می‌باشد. در شکل 6 دبی جرمی بر حسب فشار برای همه افشانک‌ها ترسیم شده است. منحنی دبی جرمی بر حسب اختلاف فشار دو سر افشانک از پیش‌بینی طراحی نیز جهت مقایسه در این منحنی ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود منحنی دبی-فشار برای دو افشانک به هم نزدیک و برای سه افشانک دیگر نیز به یکدیگر نزدیک است.

در افشانک 5 و 2، دبی جرمی از مقدار طراحی دور است و این می‌تواند ناشی از یک عیب هندسی در ساخت قطعه باشد که مشخصه مورد نظر طراحی را به دست ندهد است. بنابراین این دو افشانک از نقطه طراحی دور بوده و عملاً برای منظور آزمایش مورد نظر، ناکارآمد خواهند بود.

### 3-3-3- مشاهدات

شکل 7 تصویری از پاشش سیال را نشان می‌دهد. فشار سیال ورودی از الف تا ج به تدریج افزایش داده شده و مراحل تشکیل افشانک تا بازشدگی کامل مخروط مشاهده شده است. اختلاف سرعت سیال خروجی از افشانک با هوای محیط برای قطره‌سازی سیال در مرحله الف و ب کافی نمی‌باشد. در مرحله ج با افزایش اختلاف فشار تا 0/5 بار مخروط کاملاً باز شده است.

در شکل 8 نیز زاویه مخروط پاشش بر حسب اختلاف فشار دو طرف افشانک شماره 1 ترسیم شده است. زاویه مخروط پاشش به کمک عکس-برداری معمولی اندازه‌گیری شده است. با افزایش فشار مشاهده می‌شود که زاویه بازشدگی بیشتر شده است. از یک مقدار فشاری به بعد دیگر تغییری در زاویه مخروط ایجاد نخواهد شد.

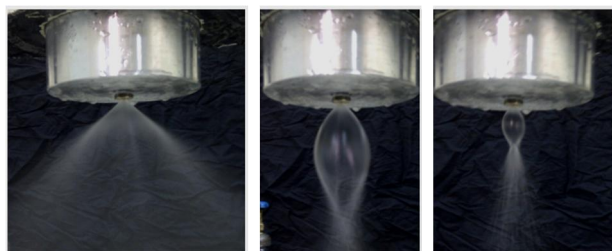
### 3-3-4- محاسبه خطا

#### 3-3-4-1- محاسبه خطای نتایج آزمون

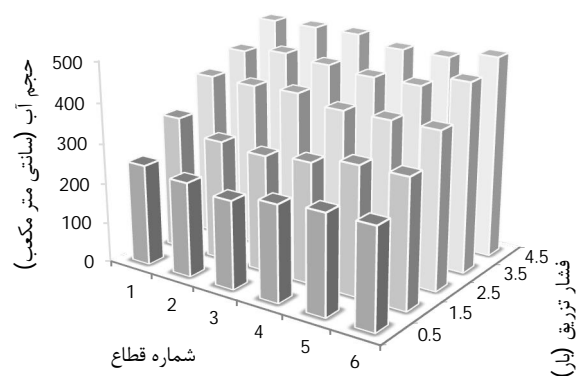
در شکل 9 منحنی تئوری دبی جرمی بر حسب فشار با افشانک شماره 1 مقایسه شده است که انطباق خوب و قابل قبولی مشاهده می‌شود. یکی از دلایل عدم انطباق کامل در فشارهای بالا، ناتوانی در جمع نمودن کلیه قطرات پاشش است. درصد خطای میانگین انحراف منحنی آزمون نسبت به پیش-بینی طراحی بر روی نمودار برای هر مورد نشان داده شده است.

#### 3-3-4-2- محاسبه خطای اندازه‌گیری

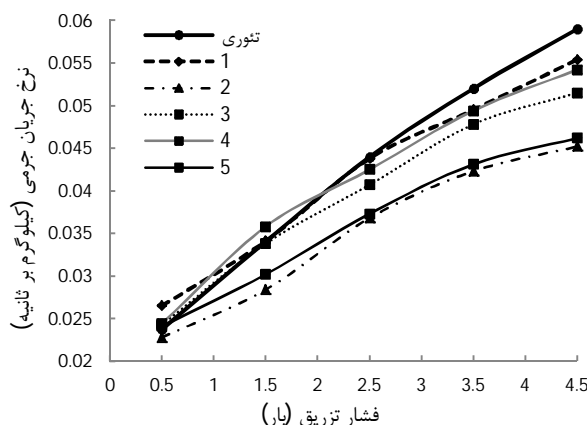
تحلیل خطای آزمایش بر مبنای فرمول ریاضی برای اندازه‌گیری دبی و مشتق آن به صورت رابطه (2) است:



شکل 7 تصویری از پاشش سیال- از الف تا ج فشار افزایش داده شده است



شکل 5 توزیع محیطی پاشش برای افشانک شماره 1



شکل 6 نمودار دبی جرمی بر حسب اختلاف فشار برای هر پنج افشانک

جدول 2 غیر یکنواختی محیطی (%) پاشش افشانک‌ها در سطوح فشار مختلف

فشار (بار)	4/5	3/5	2/5	1/5	0/5
افشانک شماره 1	9	6/5	5	7	10
افشانک شماره 2	19	18	17	9	7
افشانک شماره 3	30	36	40	57	17
افشانک شماره 4	32	33	37	37	60
افشانک شماره 5	53/5	51/5	52	40	11

### 3-3-1- بررسی تقارن پاشش

شکل 5 توزیع محیطی پاشش برای افشانک شماره 1 را نشان می‌دهد. این توزیع از برآورد حجم سیال جمع شده در هر قطاع در پنج فشار مختلف (0/5، 1/5، 2/5، 3/5 و 4/5 بار) به دست آورده شده است.

افشانک 1 یکنواخت‌ترین توزیع محیطی پاشش را در میان افشانک‌ها به خود اختصاص داده است و افشانک 5 از نظر توزیع محیطی پاشش بسیار غیر یکنواخت می‌باشد. در شکل 5 قابل مشاهده است که در هر سطح فشار، حجم مایع جمع شده در کل قطاع‌ها به هم نزدیک است. البته اختلافی که مشاهده می‌شود می‌تواند دلایل متفاوتی داشته باشد. عدم همراستایی محور افشانک با محور ظرف جمع‌کننده، خطا در جمع کردن کل قطرات در فشارهای بالا (تشکیل مه از قطرات ریز و حرکت به سمت بالا)، خطای مساوی بودن حجم قطاع‌های جمع‌کننده، خطای درجه‌بندی جمع‌کننده و مواردی از این قبیل می‌تواند در این اختلاف حجم موثر باشد.

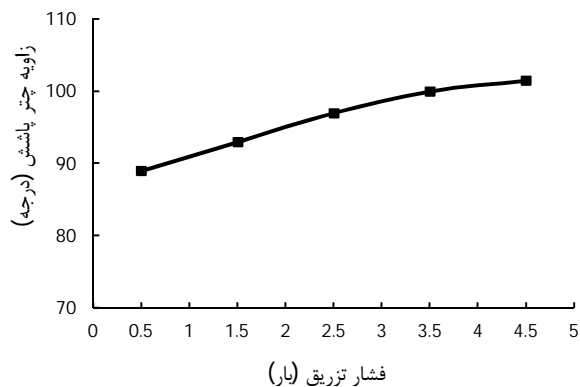
غیر یکنواختی محیطی برای همه افشانک‌ها مطابق با رابطه (1) [8] در همه سطوح فشار آزمون شده، در جدول 2 ارائه شده است. نتایج نشان داده است که درصد غیر یکنواختی محیطی برای افشانک 1 نسبت به بقیه

#### 4- نتیجه‌گیری

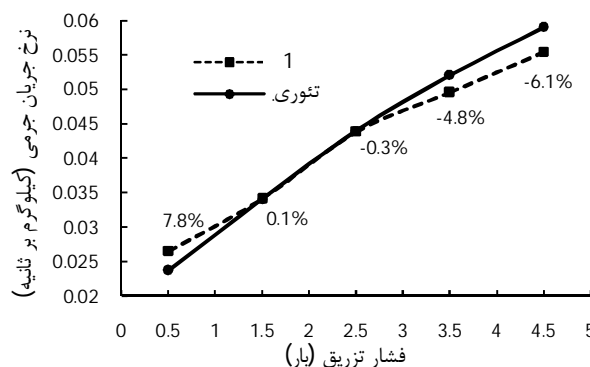
یک افشانک گریز از مرکز یک‌پایه (با عملکرد دوفازی)، که طراحی و پنج نمونه مشابه از آن ساخته شده، مورد آزمون قرار گرفته است. در این مقاله روش انجام آزمون‌های بررسی عملکرد به منظور تعیین منحنی مشخصه، توزیع حجمی و زاویه مخروط پاشش این افشانک‌ها معرفی شده و پس از تحلیل نتایج تجربی، افشانک قابل قبول از نظر کیفیت ساخت و نزدیک به پیش‌بینی طراحی انتخاب شده است که هدف این پژوهش بوده است. از این افشانک (شماره 1) می‌توان به عنوان افشانک مناسب برای انجام آزمون‌های مشخصات ذره‌بینی افشانه و صحت‌گذاری نتایج عددی استفاده نمود. آنچه از دیدگاه کاربردی مورد توجه است، منحنی دبی جرمی بر حسب فشار تزریق، زاویه پاشش در خروج از افشانک و برخی مشخصه‌های دیگر است که برای افشانک منتخب، نتایج تجربی و مشخصه‌های طراحی همخوانی خوبی داشته‌اند. در این افشانک خاص، طراحی برای زاویه پاشش 100 درجه انجام شده است که از آزمون نیز کاملاً همخوانی دارد.

#### 5- مراجع

- [1] S.M. Hosseinalipour, H. Karimaei, Prediction of air core and injection angle of a swirl injector using 3D analysis, 2<sup>nd</sup> proceeding of gas turbine, GTC92-20-01, Iran, Tehran, 2012. (In Persian)
- [2] P. Berthoumieu and G. Lavergne, Video techniques applied to the characterization of liquid sheet breakup, *Journal of Visualization*, Vol. 4, No.3, pp. 267-275, 2001.
- [3] K.A. Sallam, Z. Dai and G.M. Faeth, Liquid breakup at the surface of turbulent round liquid jets in still gases, *International Journal of Multiphase Flow* 28, pp. 427-449, 2002.
- [4] S. W. Park, C. S. Lee, Macroscopic structure and atomization characteristics of high-speed diesel spray, *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 4, No. 4, pp. 157-164, 2003.
- [5] J. S. Hwang, J. S. Ha and S. Y. No, Spray characteristics of DME in conditions of common rail injection system (II), *International Journal of Automotive Technology* 4, 3, pp. 119-124, 2003.
- [6] R. El-Sayed Negeed, S. Hidaka, M. Kohno, Y. Takata, Experimental and analytical investigation of liquid sheet breakup characteristics, *International Journal of Heat and Fluid Flow* 32, pp. 95-106, 2011.
- [7] L. Bayvel, z. Orzechowski, *Liquid atomization*, Taylor&Francis, 1993.
- [8] F. Omimi., *Space propulsion and rocket*, Besat Publication, 2009. (In Persian)



شکل 8 زاویه مخروط پاشش بر حسب اختلاف فشار دو طرف افشانک شماره 1



شکل 9 مقایسه منحنی تئوری دبی جرمی بر حسب فشار با افشانک شماره 1-درصد خطای میانگین نسبت به پیش‌بینی طراحی

$$\frac{dQ}{Q} = \frac{dV}{V} + \frac{dt}{t} \quad (2)$$

که  $dV$  و  $dt$  دقت اندازه‌گیری مقادیر است که با ابزارهای حجم و زمان‌سنجی می‌توان اندازه گرفت.

لذا خطای اندازه‌گیری دبی به صورت رابطه (3) است:

$$\frac{dV}{V} + \frac{dt}{t} = \frac{10}{300} + \frac{0.5}{60} = 0.0417 \cong 4.2\% \quad (3)$$

بنابراین حدود  $\pm 4/2$  درصد خطا در اندازه‌گیری دبی وجود دارد.