

## Equation for Measuring River Discharge with Constant Rate Injection

Y. Tahmasebi Birgani<sup>1\*</sup> and N. Mohseni<sup>2</sup>

### Abstract

In river with non-regular cross sectional area or with turbulent flow, it is not possible to measure flow by usual methods. The tracing method is used in such circumstances. This method is applied in two ways: constant rate injection for small streams and slug injection for greater flows. These methods are based on tracer dilution in a stream. In this study a new equation is presented for discharge determination using constant rate injection in the laboratory and nonlinear regressions. Sodium chloride is used in this experiment as a tracer. This method is double-checked in the field. Experimental and field results confirm accuracy of the new equation.

**Keywords:** Discharge measurement, Constant rate injection, Concentration, Tracer, Equation.

## تعیین دبی رودخانه با تزریق ثابت استفاده از داده‌های آزمایشگاهی

یاسر طهماسبی بیرگانی<sup>۱\*</sup> و ندا محسنی<sup>۲</sup>

### چکیده

در رودخانه‌هایی که اندازه‌گیری سطح مقطع دشوار است، یا به سبب وجود جریان‌های بسیار آشفته اندازه‌گیری سرعت آب با روش‌های معمولی امکانپذیر نیست و یا مسیر عبور آب از مناطق کوهستانی با شیب‌های تند و مقاطع نامنظم است می‌توان روش اندازه‌گیری دبی با استفاده از تزریق ردیاب را به کار گرفت. جهت اندازه‌گیری دبی به روش تزریق ردیاب، دو رابطه تزریق با دبی ثابت (پیوسته) برای جریان‌های کوچک و تزریق یکباره (لحظه‌ای) ردیاب برای جریان‌های بزرگ وجود دارد. در این مطالعه با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی یک رابطه جدید برای اندازه‌گیری دبی با استفاده از تزریق ردیاب با دبی ثابت ارائه شده است. همچنین آزمایش‌هایی برای مشخص شدن دقت رابطه جدید اندازه‌گیری دبی با تزریق ثابت ردیاب سدیم کلراید در شرایط یکسان کانال آزمایشگاه هیدرولیک و یک آبراهه با مقطع غیر هندسی صورت گرفته است. نتایج نشان از دقت رابطه جدید می‌دهد.

**کلمات کلیدی:** اندازه‌گیری دبی، تزریق با دبی ثابت، غلظت، ردیاب، رابطه جدید.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۰ آذر ۱۳۸۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۷ آذر ۱۳۸۹

1- Environmental Health Dept., Health faculty, Jondishapour University of Ahwaz, Iran, Ahwaz, Email: tahmasebi\_yaser@yahoo.com

2- The center of Research and Training for Occupational Safety & Health (south western district of Iran-Ahwaz)-(BSc), Iran, Ahwaz, Email: infomoseni@yahoo.com

\*- Corresponding Author

۱- دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط، اهواز.

۲- مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت و بهداشت کار منطقه جنوب غرب کشور، کارشناس بهداشت محیط، اهواز

\*- نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

تقلیل غلظت آن بر اثر رقیق شدن باشد نه بر اثر واکنش‌های شیمیایی، بی خطر بوده (سمی نباشد) و اثری بر کیفیت آب رودخانه نداشته باشد، قیمت آن زیاد نباشد. سدیم کلراید (نمک خوراکی) از جمله ردیاب‌هایی است که تمام شرایط فوق را داراست.

در تحقیق انجام شده در سال ۱۹۸۸ توسط سازمان منابع آب آمریکا، روش‌های تزریق ثابت ردیاب و سرعت سنج جهت اندازه‌گیری دبی مورد مطالعه قرار گرفت. مقایسه دقت و صحت دو روش یاد شده نشان داد که سطح اختلاف معنی‌دار نبوده و همچنین خطای روش تزریق ردیاب کمتر از سرعت سنج بوده است (Johnston, 1988). در سال ۱۹۹۰ مطالعه‌ای توسط انجمن زمین‌شناسی - هیدرولوژی آمریکا با هدف تعیین مزایا و معایب سه روش اندازه‌گیری دبی با استفاده از تزریق ثابت، لحظه‌ای و سرعت‌سنج صورت گرفت (Gees, 1990). در سال ۲۰۰۲ سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا با همکاری سازمان حفاظت از آب کلرادو مطالعه‌ای جهت اندازه‌گیری دبی رودخانه‌های پوشیده از یخ در دو ایستگاه Brandon Ditch نزدیک Whitewater, Colorado و Keystone Gulch نزدیک Dillon, Colorado با استفاده از سرعت‌سنج و تزریق ردیاب با دبی ثابت انجام داد. در این روش که با تزریق ردیاب سدیم کلراید، اندازه‌گیری غلظت یون کلراید قبل و بعد از تزریق ردیاب دبی اندازه‌گیری شده، روش اندازه‌گیری دبی با استفاده از تزریق ردیاب با دبی ثابت نسبت به روش اندازه‌گیری دبی با استفاده از سرعت سنج از دقت بیشتری برخوردار بود (Capesius, 2005).

### ۱-۱- تزریق ردیاب با دبی ثابت (پیوسته)

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، در زمان  $t=0$  و در نقطه A که جایگاه تزریق و افزودن ماده شیمیایی یا ماده رنگی و یا نمک به آب است، ردیاب با غلظت مشخص و دبی ثابت به درون رودخانه تزریق می‌شود. سپس در فاصله‌ای دورتر از نقطه A یعنی در پایین دست رودخانه در جایی که انتظار می‌رود ردیاب به آن نقطه رسیده، اختلاط کامل صورت گرفته و به تعادل رسیده باشد (نقطه B) به گونه‌ای پیوسته از آب رودخانه نمونه‌گیری انجام و غلظت ردیاب در آن اندازه‌گیری می‌شود (Carey, 2001). دبی در اولین نقطه اندازه‌گیری از رابطه زیر حاصل می‌شود. محاسبه بالانس جرمی آن از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$Q_1 C_1 = Q_0 C_0 + Q_i C_i \quad (2)$$

رابطه (۱) را می‌توان بصورت زیر عنوان کرد:

$$Q_0 = Q_1 - Q_i \quad (3)$$

برنامه‌ریزی آبیاری، کنترل سیلاب‌ها، طراحی پل‌ها، مخازن و سرریز سدها، طراحی سامانه‌های هشدار دهنده وقوع سیلاب‌ها و همچنین کاربرد درست و اندازه مطلوب آب در مزرعه، دست‌یابی به حداکثر بازده اقتصادی فرآورده‌ها در برابر هر واحد آب به کار رفته، حفظ حاصلخیزی، جلوگیری از غرقاب، باتلاقی و شور شدن اراضی همگی نیاز به دانستن دبی و اندازه‌گیری صحیح آن دارد. دبی آب‌های سطحی خروجی از حوزه‌های آبخیز را با روش‌های گوناگون می‌توان اندازه‌گیری کرد که هر یک بسته به شرایط محلی کاربرد ویژه خود را دارا می‌باشد. از اینرو آشنایی با روش‌های گوناگون اندازه‌گیری دبی آب دارای اهمیت ویژه‌ای است (Elder, 1990). یکی از این روش‌ها، اندازه‌گیری دبی با استفاده از تزریق ردیاب می‌باشد.

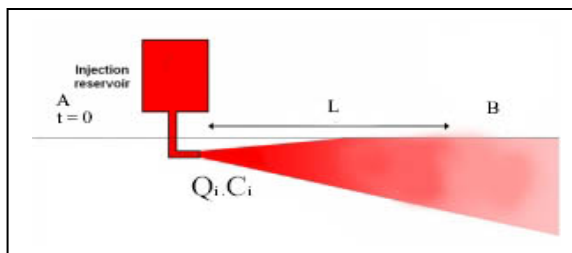
روش تزریق ردیاب در مواردی که شرایط برای اندازه‌گیری دبی بوسیله ابزار و تجهیزاتی مثل سرعت سنج مناسب نباشد کاربرد دارد (Moor, 2004). به عنوان مثال، در شرایط پوشیده بودن سطح رودخانه با یخ روش تزریق ردیاب جهت اندازه‌گیری دبی نتایج دقیق‌تری نسبت به استفاده از سرعت‌سنج دارد (Capesius, 2005). جهت اندازه‌گیری دبی کانال‌ها یا رودخانه‌هایی که سطح مقطع آنها به طور دقیق اندازه‌گیری نمی‌شوند و یا دائماً در حال تغییر است و برای رودخانه‌هایی که از مسیرهای کوهستانی عبور می‌کنند (Kilpatrick, 1984) و در جریان‌های بسیار آشفته (Johnston, 1988) استفاده از روش تزریق ردیاب مناسب است. همچنین کاربرد این روش برای کانال‌های رو بسته دقیق‌تر از کانال‌های روباز است (Rami, 2005). جهت اندازه‌گیری دبی به روش تزریق ردیاب دو رابطه وجود دارد: تزریق ردیاب با دبی ثابت (constant rate injection)، تزریق یکباره ردیاب (Slug injection). کاربرد روش تزریق ردیاب با دبی ثابت برای رودخانه‌های کوچک (با عرض خیس‌شدگی کمتر از ۲ متر) و شرایط دبی کم (دبی‌های کمتر از ۱۰۰ لیتر در ثانیه) (Moor, 2004) و روش تزریق یکباره ردیاب برای رودخانه‌ها با دبی بالا می‌باشد (Moor, 2005). روابط نامبرده بر اساس رقیق شدن غلظتی از ردیاب در آب است (علیزاده، ۱۳۸۱). ردیابی که برای این روش‌ها به کار می‌رود باید دارای ویژگی‌های زیر باشد (Linsley, 1982):

$$Q_1 = Q_0 + Q_i \quad (1)$$

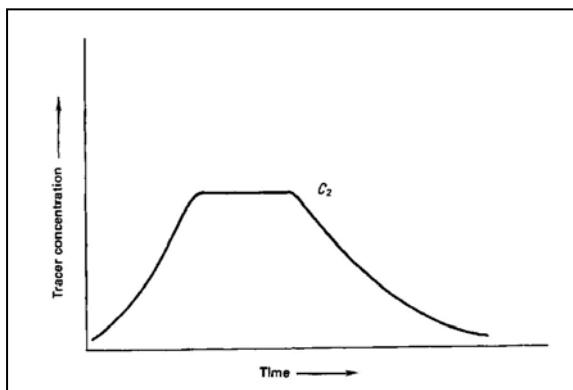
به آسانی در دمای معمولی در آب حل شود، در آب رودخانه وجود نداشته باشد یا مقدار آن کم باشد، پایدار بوده و توسط رسوبات و گیاهان جذب نشده یا در آب رسوب نکند، در برابر نور تجزیه نشود،

زیر می‌باشد (Gees, 1990):

- ۱- نرخ تزریق ردیاب در طول اندازه گیری دبی، ثابت باشد.
- ۲- ردیاب تزریقی باید کاملاً محلول باشد.
- ۳- ردیاب باید از کل سطح مقطع عبور کند.
- ۴- جریان بین نقطه تزریق و نمونه برداری باید به گونه‌ای باشد که اختلاط کامل صورت گیرد.



شکل ۱- تزریق ردیاب در بالا دست جریان (نقطه A)



شکل ۲- تغییرات غلظت ردیاب بعد از تزریق نسبت به زمان

مسافت بهینه اختلاط (به بیان دیگر فاصله لازم بین محل تزریق و محل مقطع نمونه برداری) از رابطه زیر بدست می‌آید (جهانی، ۱۳۷۷):

$$L = K \frac{VB^2}{E} \quad (7)$$

که در آن،  $E$  ضریب اختلاط جانبی که از جدول ۱ بدست می‌آید،  $L$  فاصله مورد نیاز برای اختلاط ماده رنگی با آب (فوت)،  $K$  ضریبی که به درجات مختلف اختلاط و تعداد نقاط تزریق در پهنای بستر رودخانه بستگی دارد و از جدول ۲ بدست می‌آید.  $V$  سرعت جریان در وسط کانال (فوت در ثانیه) و  $B$  پهنای متوسط رودخانه (فوت) می‌باشد.

در این مطالعه به منظور بدست آوردن رابطه جدید برای اندازه‌گیری دبی با استفاده از تزریق پیوسته ردیاب، از ۱۵۰ داده آزمایشگاهی استفاده شده است. سپس با استفاده از رابطه (۶) و رابطه پیشنهادی، ۲۱ آزمایش اندازه‌گیری دبی با تزریق پیوسته ردیاب در شرایط یکسان آزمایشگاهی انجام و روابط با هم مقایسه شدند.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- ویژگی کانال

سیستمی که جهت این مطالعه استفاده گردید شامل دو مخزن به حجم‌های ۱۵۰ و ۵۰ لیتر و یک کانال می‌باشد که طول، عرض و

با جایگزینی رابطه (۳) در (۲)، رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$Q_1 = \frac{Q_i(C_i - C_0)}{C_1 - C_0} \quad (4)$$

اگر غلظت ردیاب در بالا دست دبی صفر باشد، رابطه (۴) به شکل ساده زیر بیان می‌شود:

$$Q_1 = \frac{Q_i(C_i)}{C_1} \quad (5)$$

که در روابط فوق،

$Q_0$ : دبی در بالا دست،  $Q_1$ : دبی در پایین دست،  
 $Q_i$ : نرخ تزریق ردیاب،  $C_0$ : غلظت ردیاب در بالا دست،  
 $C_1$ : غلظت در پایین دست پس از اختلاط،  
 $C_i$ : غلظت ردیاب تزریقی.

رابطه عمومی (۵) را می‌توان به شکل زیر عنوان کرد:

$$Q_s = q \frac{C_1 - C_2}{C_2 - C_0} \quad (6)$$

که در آن،

$Q_s$ : دبی رودخانه ( $M^3/s$ )،  
 $C_0$ : غلظت اولیه ردیاب در رودخانه ( $mg/L$ )،  
 $q$ : دبی ردیاب که در آب رودخانه به طور ثابت افزوده می‌شود ( $M^3/s$ )،  
 $C_1$ : غلظت ردیاب ( $mg/L$ )،  
 $C_2$ : غلظت ردیاب در آب رودخانه پس از اختلاط کامل ( $mg/L$ ).

در تزریق ردیاب با دبی ثابت همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده، تغییرات غلظت نسبت به زمان به گونه‌ای است که ابتدا با افزایش تدریجی همراه می‌باشد، برای مدت کوتاهی ثابت بوده و سپس با افزایش زمان از میزان غلظت تا رسیدن به غلظت اولیه کاسته خواهد شد (Carey, 2001).

برخی شرایط مهم اندازه‌گیری دبی با تزریق پیوسته ردیاب به شرح

### جدول ۱- مقادیر ضریب اختلاط جانبی E برای اعماق و شیب‌های مختلف کانال

عمق (ft)	شیب کانال				
	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱۰	۰/۰۵۰	۰/۱
۱	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۱	۰/۳	۰/۴
۲	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۷	۱
۳	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۱/۳	۱/۹
۴	۰/۳	۰/۶	۰/۹	۲	۲/۹
۵	۰/۴	۰/۹	۱/۳	۲/۸	۴

هدایت الکتریکی آب پس از تزریق ردیاب اندازه گیری می‌شود. با قرائت تغییرات هدایت الکتریکی آب (حاوی ردیاب رقیق شده) و اعمال ضریب مناسب کالیبراسیون برای آب شهر اهواز، غلظت محلول سدیم کلراید در آب محاسبه می‌گردد. با داشتن دبی ثابت تزریق ردیاب، غلظت اولیه، غلظت ثانویه و رابطه (۶) می‌توان دبی را محاسبه کرد.



شکل ۳- نمای کانال مورد استفاده

### جدول ۲. مقادیر ضریب K برای درجات مختلف اختلاط و تعداد و موقعیت نقاط تزریق

موقعیت و تعداد و نقاط تزریق	ضریب K		
	درصد اختلاف		
	۹۰	۹۵	۹۸
یک تزریق در مرکز کانال	۰/۰۷	۰/۱	۰/۱۴
دو تزریق در دو نیمه پهنای کانال	۰/۰۱۸	۰/۰۲۵	۰/۰۳۵
سه تزریق در سه ثلث پهنای کانال	۰/۰۰۸	۰/۰۱۱	۰/۰۱۶
یک تزریق در کناره کانال	۰/۲۸	۰/۴	۰/۵۶

### ۲-۳- ضریب کالیبراسیون

جهت بدست آوردن ضریب کالیبراسیون برای آب مورد نظر (در این مطالعه شهر اهواز)، رابطه نسبی بین غلظت و هدایت الکتریکی بدست آمد (Johnston, 1988). جهت تعیین غلظت، ابتدا هدایت الکتریکی نمونه آب با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری غلظت جامدات محلول نمونه، نمونه آب را از فیلتر عبور داده، با تبخیر و تعیین وزن رسوب باقیمانده غلظت کل جامدات محلول بر حسب میلی گرم در لیتر به دست می‌آید. نتایج هدایت الکتریکی و غلظت برای ۱۵ نمونه در جدول ۳ نشان داده شده است. ضریب مورد نظر برای آب شهر اهواز برابر ۰/۶ است (شکل ۴).

عمق کانال به ترتیب ۶ متر، ۱۰ و ۲۰ سانتی متر است (شکل ۳). برای برقراری جریان آب از مخزن ۱۵۰ لیتر به کانال، از پمپ آب با قدرت ۰/۷۴ کیلو وات استفاده گردید. لازم به ذکر است با توجه به کالیبره بودن سیستم با روش حجمی، از مخزن ۵۰ لیتر جهت بدست آوردن دبی کانال استفاده شد. ارتفاع کانال مورد استفاده از سطح زمین ۱۲۰ سانتی متر و با توجه به متغیر بودن شیب کانال دبی‌های مختلف در کانال ایجاد گردید. لازم به ذکر است که آب مورد استفاده در این کانال آب شهر اهواز بوده است.

### ۲-۲- روش تزریق پیوسته ردیاب

پس از برقراری جریان، ابتدا تزریق ردیاب سدیم کلراید با دبی ثابت صورت می‌گیرد. مراحل اندازه‌گیری دبی به روش تزریق ثابت بدین ترتیب است که در ابتدا جهت اندازه‌گیری هدایت الکتریکی اولیه از یک دستگاه هدایت‌سنج استفاده گردید. غلظت ردیاب در کلیه آزمایش‌های تزریق با دبی ثابت ۱۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر بوده است. پس از تهیه ردیاب، تزریق ردیاب به کمک بورت آزمایشگاهی در بالا دست جریان صورت می‌گیرد و یک هدایت‌سنج الکتریکی در پایین دست جریان و در نقطه‌ای که اطمینان از اختلاط کامل آب و ردیاب وجود دارد (انتهای کانال) نصب می‌شود و بدین ترتیب تغییرات

### ۲-۴- رابطه جدید

همانطور که در قبل گفته شد رابطه (۶) نشان می‌دهد که با داشتن غلظت ماده ردیاب در ابتدا و انتهای محل تزریق، غلظت ماده ردیاب در رودخانه قبل از تزریق و دبی تزریق ردیاب می‌توان دبی رودخانه را محاسبه کرد، لذا در بدست آوردن رابطه جدید از این پارامترها استفاده شده است:

$$f(Q, q, C_1, C_2, C_0) = 0 \quad (8)$$

در بدست آوردن رابطه جدید این پارامترها به شکل بی بعد در زیر نشان داده شده‌اند:

$$R_i = y_i - f_i \quad (14)$$

$$f_i = f(x_i, \theta^*), i = 1, \dots, n \quad (15)$$

$$W = \text{Diag}(W_1, \dots, W_n) \quad (16)$$

و  $n$  تعداد داده‌هاست. برای داده  $i$  ام،  $y_i$  متغیر وابسته،  $x_i$  متغیر برداری مستقل و  $W_i$  تابع وزنی است که می‌تواند تابعی از  $\theta$  باشد. گرادیان  $f$  نسبت به  $\theta$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\nabla F = 2J_j'WR \quad (17)$$

که  $J_j$  ستون  $j$  ام ماتریس ژاکوبی ( $n \times P$ ) است که عناصر  $(i \times j)$  ام به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$J_{ij} = \frac{R_i}{2W_i} \cdot \frac{\partial W_i}{\partial \theta_j} - \frac{\partial f_i}{\partial \theta_j} \quad (18)$$

برای حل تابع هدف از روش الگوریتم Levenberg-Marquardt استفاده شده است (More, 1977).

با استفاده از پارامترهای ۱۵۰ آزمایش و نرم افزار Spss نسخه ۱۳، رابطه (۱۹) حاصل شد.

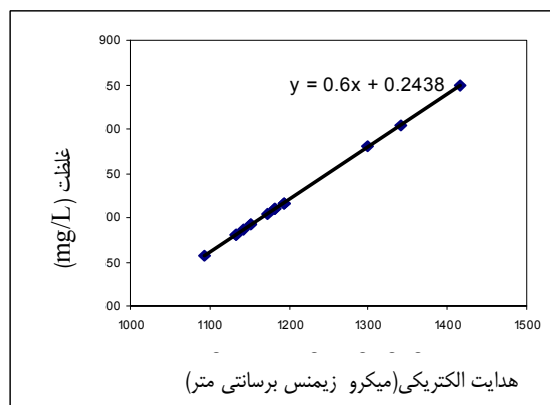
$$\frac{Q}{q} = 21.5 \times \left(\frac{C_1}{C_2}\right)^{1.24} \times \left(\frac{C_2}{C_0}\right)^{-14.5} \quad (19)$$

جدول (۴) مقادیر حداکثر و حداقل پارامترهای آزمایشگاهی برای بدست آوردن رابطه (۱۹) را نشان می‌دهد. شکل‌های ۵ و ۶ رابطه

$\frac{Q}{q}$  را به ترتیب با  $\frac{C_1}{C_2}$  و  $\frac{C_2}{C_0}$  که دارای ضریب رگرسیونی به ترتیب برابر با ۰/۹۵ و ۰/۸۶ می‌باشد، نشان می‌دهد.

پس از بدست آوردن رابطه (۱۹)، ۲۱ آزمایش اندازه‌گیری دبی با استفاده از تزریق ردیاب با دبی ثابت انجام شده است. از این آزمایش‌ها برای مقایسه رابطه (۶) و (۱۹) استفاده گردیده است. نتایج این روابط با دبی واقعی کانال (حجمی) مقایسه شده اند. همچنین روابط یاد شده در یک آبراهه طبیعی با سطح مقطع غیر هندسی انجام و نتایج با دبی آبراهه، مقایسه شدند. جدول ۵ حداقل و حداکثر پارامترهای اندازه‌گیری شده در آبراهه را نشان می‌دهد.

پس از بدست آوردن رابطه (۱۹)، ۲۱ آزمایش اندازه‌گیری دبی با استفاده از تزریق ردیاب با دبی ثابت انجام شده است. از این آزمایش‌ها برای مقایسه رابطه (۶) و (۱۹) استفاده گردیده است. نتایج این روابط با دبی واقعی کانال (حجمی) مقایسه شده اند. همچنین روابط یاد شده در یک آبراهه طبیعی با سطح مقطع غیرهندسی



شکل ۴- رابطه بین هدایت الکتریکی و غلظت ردیاب

$$f\left(\frac{Q}{q}, \frac{C_1}{C_2}, \frac{C_2}{C_0}\right) = 0 \quad (9)$$

فرض می‌شود، بین پارامترهای فوق رابطه زیر برقرار است، بنابراین رابطه (۱۰) به عنوان یک مدل غیر خطی جهت ارائه رابطه جدید پیشنهاد شده است:

$$\frac{Q}{q} = X_1 \cdot \left(\frac{C_1}{C_2}\right)^{X_2} \cdot \left(\frac{C_2}{C_0}\right)^{X_3} \quad (10)$$

که در آن،  $X_1 =$  ضریب رابطه،  $X_2, X_3 =$  توان پارامترها و سایر پارامترها نیز در رابطه (۶) معرفی شده‌اند. این ضرایب با استفاده از روش رگرسیون غیرخطی به دست می‌آیند.

رگرسیون غیرخطی روشی برای تعیین یک مدل غیر خطی و ارتباط بین متغیر مستقل و مجموعه‌ای از متغیرهای وابسته است. بر خلاف روش مرسوم رگرسیون خطی که به تخمین یک مدل خطی محدود می‌شود، رگرسیون غیرخطی می‌تواند یک مدل با ارتباط تصادفی بین متغیرهای وابسته و مستقل تخمین بزند. این کار با استفاده از الگوریتم تکرار انجام می‌شود (More, 1977).

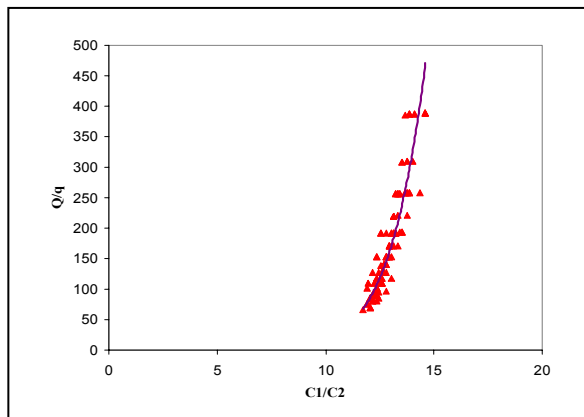
فرض می‌شود مدل به صورت زیر باشد:

$$y = f(x, \theta) \quad (11)$$

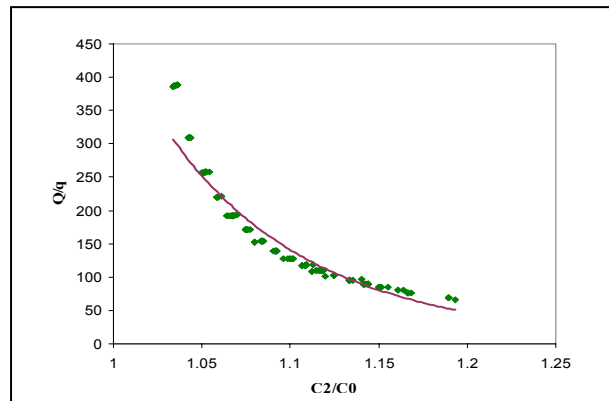
که در آن  $\theta$  یک پارامتر برداری ( $p \times 1$ ) و  $x$  یک متغیر برداری مستقل و  $f$  تابعی از  $x$  و  $\theta$  است. هدف از الگوریتم رگرسیون غیر خطی پیدا کردن پارامتر  $\theta$  از روش حداقل مربعات است که  $(\theta^*)$  نامیده می‌شود. تابع هدف زیر را به حداقل می‌رساند:

$$F(\theta) = R'WR \quad (12)$$

$$R' = (R_1, \dots, R_n) \quad (13)$$



شکل ۶- پارامتری بی بعد دبی کانال به دبی تزریق ردیاب در برابر غلظت قبل از تزریق ردیاب به غلظت ردیاب پس از تزریق



شکل ۵- پارامتری بی بعد دبی کانال به دبی تزریق ردیاب در برابر غلظت ردیاب به غلظت اولیه

داده‌های بدست آمده از طریق رابطه جدید انطباق خوبی با داده‌های بدست آمده از رابطه عمومی تعیین دبی با استفاده از تزریق پیوسته ردیاب (رابطه ۶) دارند. همچنین شکل ۸ نتایج اندازه گیری دبی آبراهه طبیعی با استفاده از رابطه (۱۹) را نشان می‌دهد. همانطور که در این نمودار مشاهده می‌شود رابطه جدید نتایج خوبی از دبی این آبراهه را نشان می‌دهد.

انجام و نتایج با دبی آبراهه، مقایسه شدند. جدول ۵ حداقل و حداکثر پارامترهای اندازه گیری شده در آبراهه را نشان می‌دهد.

### ۳- بررسی نتایج و بحث

شکل ۷ نتایج ۲۱ آزمایش اندازه‌گیری دبی با تزریق پیوسته ردیاب (رابطه ۱۹) و رابطه (۶) را نشان می‌دهد. دبی‌های بدست آمده با دبی کانال مقایسه شدند. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود

جدول ۳- رابطه هدایت الکتریکی و غلظت

هدایت الکتریکی ( $\mu/cm$ )	۱۷۱۱	۱۵۱۱	۱۸۱۱	۱۵۱۱	۱۵۰۱	۱۵۱۱	۱۷۱۱	۱۶۱۱	۱۷۱۱	۱۵۰۱	۱۶۱۱	۱۷۱۱	۱۶۱۱	۱۵۱۱	۱۶۱۱	۱۷۱۱
غلظت (mg/l)	۱۸۰	۱۹۶	۲۰۴	۲۱۸	۲۳۶	۲۵۲	۲۷۶	۲۹۸	۳۱۶	۳۳۶	۳۵۶	۳۷۸	۳۹۸	۴۱۸	۴۳۸	۴۵۸

جدول ۴- مقادیر حداکثر و حداقل پارامترها

$\frac{C_2}{C_0}$	$\frac{C_1}{C_2}$	$\frac{Q}{q}$	$\frac{Q}{(l/s)}$	$C_0$ (mg/l)	$C_2$ (mg/l)	$C_1$ (mg/l)	$q$ (l/s)	پارامترها
۱/۱۹۳	۲۱۳/۷۴۱	۳۸۸/۱۶۶	۶/۱۰۱	۷۵۰	۸۵۲	۱۰۰۰۰	۰/۰۱۵۸	MAX
۱/۰۳۳	۱۳۷/۷۵۹	۶۶/۲۹	۰/۷۰۲	۶۶۰	۶۸۴	۱۰۰۰۰	۰/۰۰۸۵	MIN

جدول ۵- مقادیر حداکثر و حداقل پارامترهای اندازه‌گیری شده در آبراهه با مقطع غیر هندسی

$\frac{C_2}{C_0}$	$\frac{C_1}{C_2}$	$Q$ آبراهه (l/s)	$C_0$ (mg/l)	$C_2$ (mg/l)	$C_1$ (mg/l)	$q$ (l/s)	پارامترها
۱/۱۲۳	۳۸/۵	۴/۱	۷۲۰	۸۱۰	۳۰۰۰۰	۰/۰۲۵	MAX
۱/۰۴	۱۳/۶	۲/۹۲	۶۸۰	۷۲۰	۱۰۰۰۰	۰/۰۰۸	MIN

جهانی، ح. (۱۳۷۷)، "اندازه‌گیری دبی جریان با روش‌های ردیابی رنگی." آب و توسعه، شماره اول، صص ۹۲-۹۷.

Capesius, J. P., Sullivan, J.R., O'neill, G.B. and Williams, C.A. (2005), *using the tracer - dilution discharge method to develop*

*Streamflow records ice - affected in Colorado.*, U.S. Geological survey scientific Investigation Report 2004- 5164, 14p., (2005).

Carey, W. P. (2001), *Use of tracer injections to measure discharge and quantify pollutant loading*, USA, Resource note - National Science and technology Center, note 47.

Elder, K. and Kattelman, R. (1990), *Refinements in dilution gauging for mountain stream*, *Hydrology in Mountainous Regions*. No.193, pp. 247- 254.

Gees, A. (1990), *Flow measurement under difficult measuring conditions: field experience with the salt dilution method*, *Hydrology in Mountainous Regions*, No. 193, pp. 255- 262.

Johnston, D.E. (1988), *Some Recent Developments of Constant- Injection Salt Dilution Gauging in River*, *Journal of Hydrology (N. Z.)*, Vol.27/ No.2, pp. 128- 153.

Kilpatric, A. and Cobb, E. D. (1984), *Measurement of Discharge Using Tracers*, Open File Report 84- 136, U. S. Geological Survey, 73p.

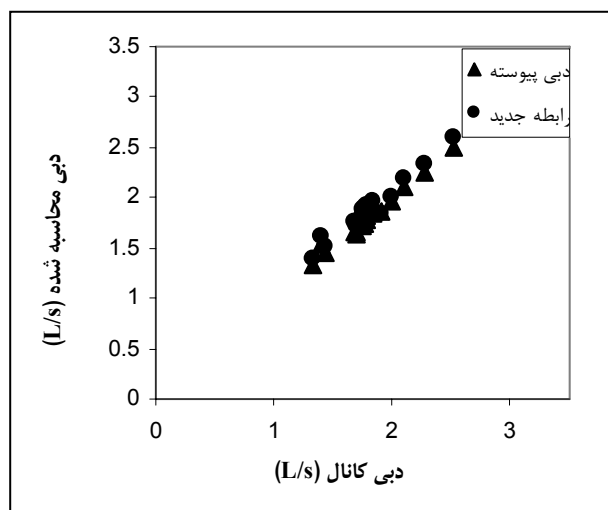
Linsley, R.K., Kohler, M. A. and Palhus, J.L.H. (1982) *Hydrology for engineers*, Chapter 4, *Stream flow*, New York, pp. 102-115.

Moor, R.D. (2004), *Introduction to Salt Dilution Gauging for Stream flow Measurement Part 2: Constant- rate Injection*, *Streamline Watershed Management Bulletin*, Vol. 8, NO.1, pp. 11- 15.

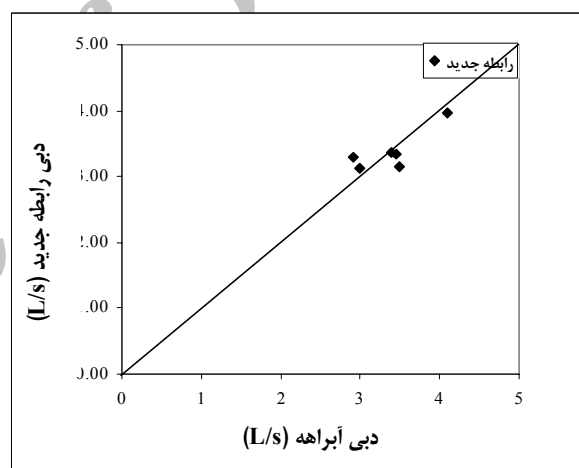
Moor, R.D. (2005), *Introduction to Salt Dilution Gauging for Stream flow Measurement Part III: Slug Injection Using Salt in Solution*, *Streamline Watershed Management Bulletin*, Vol. 8/ No. 2, pp. 1- 6.

More, J. J. (1977), *The Levenberg-Marquardt algorithm implementation and theory in numerical analysis*, Lecture notes in mathematics, G. A. Watson, eds. Berlin: Springer-Verlag.

Rami, R. and Yaya, p. (2005), *Stream measurement*, Text Book of Hydrology, chapter 6, Laxmi Publication, India, pp. 178- 189.



شکل ۷- مقایسه دبی رابطه جدید و رابطه رایج با دبی کانال آزمایشگاهی



شکل ۸- مقایسه دبی رابطه پیشنهادی و آبراهه با مقطع غیرهندسی

## ۵- تقدیر و تشکر

در پایان بر خود واجب می‌دانیم از زحمات و پیگیری‌های مداوم ریاست و معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز و همچنین ریاست محترم دانشکده بهداشت و کلیه کسانی که با نظرات خود ما را در اتمام این مطالعه یاری نمودند تشکر نمائیم.

## ۶- مراجع

علیزاده، ا. (۱۳۸۱)، "اصول هیدرولوژی کاربردی." آب سنجی، فصل سیزدهم، نشر دانشگاه امام رضا(ع)، مشهد.