Research Paper

Investigating the Application of Experimental Regime Equations in Alluvial Channels of Mazandaran Province

Alireza Ghanbarpour[1], Davood Akbari Nodehi[2*], Fatemeh Nadery[3]

[1] Graduated in water civil engineering, Shushtar University, Iran
[2] Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Qaemshahr, Qaemshahr, Iran.
[3] A graduate of hydraulic structures, Faculty of Agricultural Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

10.22125/iwe.2024.425116.1767

Received:
February 13, 2024
Accepted:
May 8, 2024
Available online:
October 13, 2024

Keywords:
Regime theory, alluvial channels, qualitative evaluation, empirical equations

stract

During the past decades, many regime equations have been proposed for the design of alluvial channels. Since most of these equations were created based on the information obtained from certain geographical areas, they cannot be used for all areas. It is necessary to check the regime equations for that area before use and after evaluation. Therefore, in this research, different regime equations have been evaluated in the alluvial channels of Mazandaran province in order to introduce the most suitable regime equation for the region. Lacy, Blanche, Simmons and Alberston and Zand Parsa and Javan equations were evaluated in this research. Data on flow rate, velocity, cross section, water surface slope, water depth, water surface width, concentration and size of bottom and wall particles were collected and different regime equations were analyzed using the obtained information. To check the quality of each model, parameters of mean absolute error, mean square error and error percentage were used. After the qualitative evaluation for the wetted medium, the equations of Zand Parsa and Javan and Simon and Alberston, for the hydraulic radius, width of the water surface and flow speed of Simon Alberston and for the slope of the Blanch equation were found to be appropriate. The results showed that the equation presented by Simmons and Alberston has shown a better estimate because it has been investigated for channels with different conditions of bottom particle size and sediment concentration. Of course, the presented relationships of the regime equations have faced doubts in different places, because the sediment load and other effective factors vary greatly from one place to another. For this reason, a series of proposed equations for the design of alluvial channels for the studied area have been presented.

1. Introduction

In recent decades, alluvial channels have received a lot of attention and many studies have been conducted to design and evaluate their stability. In alluvial channels, in addition to the free surface of the flow, the wall is not confined and they change based on the prevailing hydraulic conditions. The criteria for designing stable canals are that the entering sediment is kept in suspension and the flow velocity should not be higher than the critical value, which could erode the bed or bank materials, and should not be low to allow the suspended sediment particles to settle along the channel bed. The most

* **Corresponding Author:** Davood Akbari Nodehi
Address: Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Qaemshahr, Qaemshahr, Iran.
Email: d.akbari@qaemiau.ac.ir
Tel: +989111551384

important parameters for determining channel stability are its top width, average flow depth, flow velocity, and slope. Therefore, efforts to understand the sustainability concept and present hydraulic geometry relations have been made. Regime theory includes many empirical relationships that are generally suitable for information obtained from specific geographical areas and its coefficients can be re-determined in each area. For this purpose, in this study, the actual performance of alluvial channel design equations was investigated in terms of accuracy and reliability by examining these formulas with measured data, in the case of the study, and in the best way, the equation for the design of alluvial channels was done according to statistical analysis.

2. Materials and Methods

In this research, different regime equations are evaluated in the alluvial channels of Mazandaran province in order to introduce the most suitable regime equation for the region. Lacy, Blanche, Simmons and Alberston and Zand Parsa and Javan equations were evaluated in this research. Data on flow rate, velocity, cross section, water surface slope, water depth, water surface width, concentration and size of bottom and wall particles were collected and different regime equations were analyzed using the obtained information.

3. Results

The attainable results from the field and statistical study for the design of stable canal in region were presented and the following conclusions are drawn:

After the qualitative evaluation for the wetted medium, the equations of Zand Parsa and Javan and Simon and Alberston, for the hydraulic radius, width of the water surface and flow speed of Simon Alberston and for the slope of the Blanch equation were found to be appropriate. The results showed that the equation presented by Simmons and Alberston has shown a better estimate because it has been investigated for channels with different conditions of bottom particle size and sediment concentration. Of course, the presented relationships of the regime equations have faced doubts in different places, because the sediment load and other effective factors vary greatly from one place to another. For this reason, a series of proposed equations for the design of alluvial channels for the studied area have been presented.

4. Discussion and Conclusion

The results showed that the equation presented by Simmons and Alberston had a better estimate because the width and depth of the channel were also related to the equilibrium slope in addition to the dependence on the discharge. This causes these equations to be true for a wide range of alluvial channels in regime conditions. Regarding the other equations presented, because most of them were case studies with existing limitations in a certain region, they could not be proposed for the region in the design of alluvial channels. Simmons and Alberston's equation can also be used with a suitable estimate due to the fact that some of the limitations of the alluvial channels have been removed. Therefore, it can be said that whenever the equilibrium slope of the tested area can be used as an independent variable in the regime equations, the equations show a good estimate.

5. Six important references

1)Hilo, A. N., 2018. Verify The Applicability of Stable Alluvial Channel Design Methods in Central of Iraq. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). 9(12): 401–409.

2) Abdel Haleem, F. S., Amin, A. M., and Ibrahim, M. M. 2016. Updated regime equations for alluvial Egyptian canals. Alexandria Engineering Journal. 505–512.

3) Simons, D. B., and Albertson M. L.1960. Uniform water conveyance channels in alluvial Material. J. Hyd. Div., ASCE. 86(HY5): 33-71.

4) Akbari Noodhi, D., Khalili, D., Zand Parsa, Sh., and Javan, M. 2014. Investigating regime equations in alluvial channels in Kamfirouz region of Fars province. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. 12 (4): 1-9.

5) Deshpande, V., and Kumar, B. 2012. Review and Assessment of the Theories of Stable Alluvial Channel Design. Water Resources. 39(4): 481–487.

6)Chitale, S. V. 1994. Lacey divergence equation for alluvial canal design. J. Hyd. Eng. ASCE. 120(11): 1320-1326.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال پانزدهم. شماره پنجاه و هفت.پاییز۱۴۰۳

بررسی معادلات تجربی رژیم جریان در مجاری آبرفتی استان مازندران

علیرضا قنبرپور شیاده[۱] ، داوود اکبری نودهی[۲]، فاطمه نادری[۳]

تاریخ ارسال:۱۴۰۲/۱۱/۲۴
تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۰۲/۱۹

مقاله پژوهشی

چکیده

در طی دهه‌های گذشته، معادلات رژیم جریان بسیاری برای طراحی کانال‌های آبرفتی پیشنهاد شده است. از آنجا که بیشتر این معادلات در مناطق مشخص جغرافیایی توسعه یافته‌اند، بنابراین از اثرات منطقه ای مبرا نیستند و این مسئله مانعی برای کاربرد همگانی آن‌ها می‌باشد. ضروری است تا قبل از استفاده، معادلات رژیم جریان برای منطقه مورد نظر بررسی و بعد از ارزیابی مورد استفاده قرار گیرد. لذا در این تحقیق معادلات مختلف رژیم جریان در مجاری آبرفتی استان مازندران مورد ارزیابی قرار گرفته تا مناسب‌ترین معادله رژیم برای منطقه معرفی شود. معادلات لیسی، بلنچ، سیمونز و آلبرستون و زند پارسا و جوان در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفتند. اطلاعات دبی، سرعت، سطح مقطع، شیب سطح آب، عمق آب، عرض سطح آب، غلظت و اندازه ذرات کف و جداره جمع‌آوری و معادلات مختلف رژیم با استفاده از اطلاعات حاصله تجزیه و تحلیل شد. برای بررسی کیفیت هر یک از مدل‌ها، پارامترهای میانگین خطای مطلق، میانگین مربعات خطا و درصد خطا استفاده گردید. بعد از ارزیابی کیفی صورت گرفته برای محیط خیس شده معادله زند پارسا و جوان و سیمون و آلبرستون، برای شعاع هیدرولیکی، عرض سطح آب و سرعت جریان سیمون آلبرستون و برای شیب معادله بلنچ مناسب تشخیص داده شدند. نتایج نشان داد که معادلهٔ ارائه شده توسط سیمونز و آلبرستون به علت اینکه برای کانال‌هایی با شرایط مختلف اندازهٔ ذرات کف و غلظت رسوبات مورد بررسی قرار گرفته شده است، برآورد بهتری را نشان داده است. البته روابط ارائه شده معادلات رژیم در مکان‌های مختلف با تردید مواجه بوده است، زیرا بار رسوبی و عوامل موثر دیگر از یک مکان به مکان دیگر به شدت متغیر می‌باشد. به همین علت یک سری معادلات پیشنهادی برای طراحی کانال‌های آبرفتی برای منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.

واژهای کلیدی: تئوری رژیم، مجاری آبرفتی، ارزیابی کیفی، معادلات تجربی

[۱] کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، رایانامه: chaman299@yahoo.com
[۲] گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، قائمشهر، ایران، رایانامه: d.akbari@qaemiau.ac.ir(نویسنده مسئول،)
[۳] سازه های آبی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و مهندسین مشاور زه آبرانه کیله
fateme.nadery.65@qmail.com

مقدمه

در یک آبراهه رژیم، دبی جریان، دبی رسوب، هندسه و شیب آبراهه در حال اندرکنش با یکدیگر هستند و به عبارت دیگر یک آبراهه آبرفتی در طول یک دوره زمانی مقادیر عرض، عمق و شیب خود را بر اساس مقادیر دبی جریان و دبی رسوب تنظیم می‌کند. در واقع مقادیر عرض، عمق و شیب آبراهه سه متغیر وابسته هستند که بر اساس متغیرهای مستقل دبی جریان و دبی رسوب تعیین می‌گردند (طاهرشمس و ایمان شعار، ۱۳۸۹).

تئوری رژیم فراگیرترین روش برای طراحی کانال‌های آبرفتی پایدار، با در نظر گرفتن مسئله انتقال رسوبات و الزام‌های خاص آبراهه‌های آبرفتی می‌باشد. بر اساس این تئوری، یک آبراهه زمانی در حالت رژیم است که شیب و سطح مقطع آن در شرایط تعادل قرار داشته باشد و فرسایش یا رسوبگذاری در آن رخ ندهد، هر چند که امکان حمل رسوبات توسط جریان وجود دارد. از این روش به علت ارائه روابط تجربی متعدد توسط محققین برای تعیین ابعاد آبراهه‌های رژیم، با عنوان فرمول‌های تجربی، یاد می شود. ماهیت روابط ارائه شده در این روش به صورت توابعی نمایی هستند که در آنها متغیرهای وابسته از قبیل عرض، عمق و سرعت جریان نسبت به دبی بیان می‌شوند ((Abdelhaleem et al. 2016.

در دهه‌های اخیر مجاری آبرفتی مورد توجه فراوان بوده و برای طراحی و بررسی پایداری آنها مطالعات زیادی صورت گرفته است. در مجاری آبرفتی علاوه بر آزاد بودن سطح جریان، جداره نیز محبوس نبوده و براساس شرایط هیدرولیکی حاکم تغییر می‌کنند. ارائه تغییرات تا جایی است که مجرا به حالت تعادل برسد. در این حالت ممکن است شیب بستر و یا سطح مقطع جریان تغییر کند (اکبری نودهی و همکاران، ۱۳۸۴). پیشینه‌ی تعیین ابعاد کانال پایدار به بیش از یکصد سال میرسد .نتیجه‌ی تحقیقات نشان داد که عرض بیشترین بستگی را به دبی (Q)و اندازه‌ی متوسط ذرات رسوب (d_{50}) دارد (Darby 2005 ; Xu 2007).

زند پارسا و جوان (۱۳۷۲) و جایدری و سلطانی (۱۳۸۷) شیب بستر(S) را نیز در برآورد عرض کانال پایدار (W) به‌عنوان عامل مؤثر سوم معرفی کردند. Hey and Thorne (1986) دو رابطه یک متغیره (توانی برحسب(Q و دو متغیره حاصلضربی (برحسب d_{50} وQ) برای برآورد W به‌دست آوردند.

Kennedy (1895) و Lindley (1919)به‌طور تجربی با جمع آوری اطلاعات کانال‌های پایدار پنجاب در هندوستان روابطی را برای طراحی کانال‌های پایدار ارائه دادند. در معادلات ارائه شده عرض و عمق به عنوان متغیرهای شرایط رژیم به‌کار رفته اند.

Chitale (1996) با بررسی روی کانال‌های اوتار پرادش در هندوستان، مشاهده نمود که مقادیر به دست آمده شیب(S)، شعاع هیدرولیکی (R) و محیط خیس شده (P) از رابطه Lacey (1930a) با مقادیر اندازه‌گیری شده متفاوتند.

Abdelhaleem et al. (2016) مطالعه‌ای برای بررسی دقت معادلات رژیم جریان برای طراحی کانال های آبرفتی پایدار در مصر انجام دادند. اندازه‌گیری‌های میدانی بر روی ۲۶ کانال پایدار مصر انجام شده است. با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده یکسری معادلات جدید برای طراحی کانال‌های آبرفتی ارایه دادند. معادلات جدید با معادلات سایر محققین برای طراحی کانال پایدار مقایسه شد. در نهایت بیان نمودند معادلات جدید بدست آمده برای منطقه قابل اعتماد هستند و می‌توانند در طراحی کانال های مورد استفاده قرار گیرند.

Abdel-Aal (1996) طراحی کانال‌های آبرفتی پایدار را مرور کرد و به این نتیجه رسید که روش Simons and Albertson (1960) کاربردی‌ترین روشی است که مقادیری نزدیک به کانال‌های مورد مطالعه او می‌دهد.

Lacey (1930a) با جمع آوری اطلاعات کانال‌های آبرفتی در هندوستان معادلات رژیم برای طراحی ابعاد کانال جریان پایدار بیان نمود.

Blench (1957) براي طراحی کانال‌های آبرفتی با در نظر گرفتن اثر غلظت رسوبات و شرایط ذرات کف و بدنه کانال، معادلات رژیم جریان معرفی نمود.

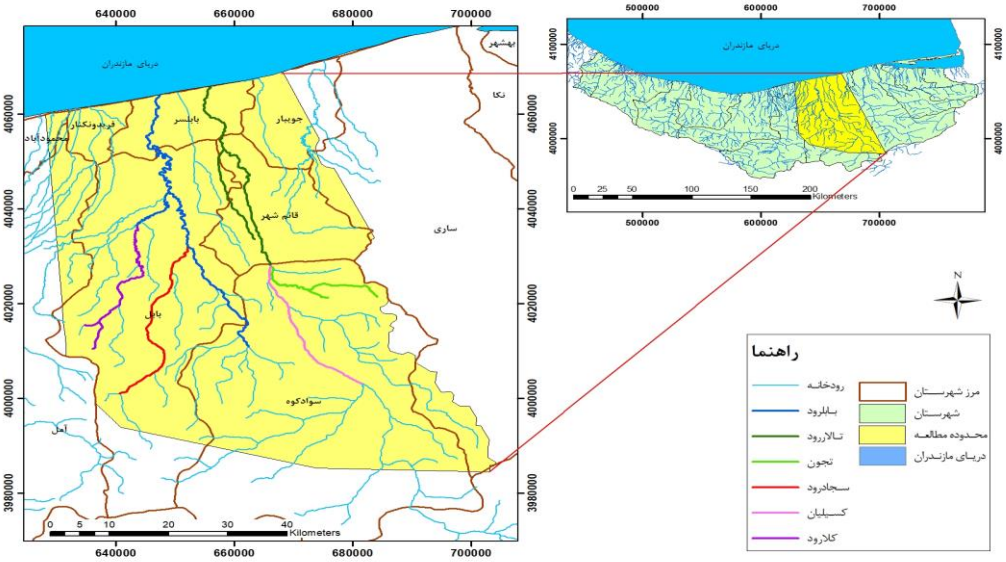
Simons and Albertson (1960) با جمع آوری اطلاعات موجود در هندوستان و ایالات متحده آمریکا معادلات رژیم را برای کانال‌هایی با شرایط مختلف اندازه

ذرات کف و غلظت رسوبات بررسی نمودند. انواع مختلف کانال‌ها با توجه به ذرات تشکیل دهنده کف و جداره به پنج نوع تقسیم بندی شدند. زند پارسا و جوان (۱۳۷۲) بر اساس اطلاعات Hey and Thorne (1986) مقدار شعاع هیدرولیکی (R) را بصورت تابعی از Q و S و رابطه‌ای برای محیط خیس شده کانال ارائه دادند.

همانطوری که بیان شد، تئوری رژیم در مجاری آبرفتی شامل روابط متعدد تجربی می‌باشد که عموماً براساس اطلاعات به دست آمده از مناطق مشخص جغرافیایی بوجود آمده و مناسب است که ضرایب آن در هر منطقه‌ای مجددا تعیین گردد. برای همین منظور در این مطالعه بررسی عملکرد واقعی معادلات طراحی کانال-های آبرفتی از نظر دقت و قابلیت اطمینان با تمرکز عمدتا بر تجزیه و تحلیل و مقایسه این فرمول‌ها با داده‌های اندازه‌گیری شده، در منطقه مورد مطالعه بررسی و بهترین معادله برای طراحی کانال‌های آبرفتی با توجه به تجزیه و تحلیل آماری ارایه گردید.

مواد و روش‌ها

اندازه‌گیری‌های میدانی محدوده مورد مطالعه شهرستان‌های بابل، قائم‌شهر و سوادکوه در استان مازندران می‌باشند که از شمال به دریای خزر و جنوب به رشته کوه‌های البرز منتهی می‌شوند. قسمت اعظم این منطقه توسط رودخانه‌های بابلرود، کلارود، سجادرود، تالار، تجون و کسیلیان آبیاری می‌شوند (شکل ۱). وسعت محدوده مورد مطالعه حدود ۳۰۰۰۰ هکتار می‌باشد که کانال‌های آبیاری بصورت کانال‌های پایدار خاکی و برخی بتنی می‌باشند و غالباً کانال‌های خاکی از سال‌ها پیش بصورت سنتی احداث گردیده‌اند. با بررسی‌های میدانی ۲۰ کانال پایدار در منطقه شناسایی شدند.



شکل(۱): نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه (حوزه‌های آبریز بابلرود و تالار)

سرعت جریان آب در کانال‌های مختلف با استفاده از مولینه OTT Z30 ساخت کمپانی OTT آلمان که برای اندازه‌گیری سرعت جریان بین ۰/۰۲۵ تا ۵ متر بر ثانیه قابل اعتماد می‌باشد، اندازه‌گیری گردید. برای محاسبه سرعت متوسط آب با مولینه بسته به عمق کانال از روش-های یک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای، سه نقطه‌ای و پنج نقطه‌ای استفاده شد. شکل (۲). عرض بالا به ۳-۸ قسمت برای نشان دادن محل پروفیل‌های سرعت تقسیم شد. سرعت-های نقطه‌ای در جهت عمودی از بستر تا سطح آب با استفاده از جریان سنج پروانه‌ای با محور افقی برای در نظر گرفتن ناهمواری بستر اندازه‌گیری شد. برای دبی جریان روش سرعت - مساحت استفاده شد.

شکل (۲):استفاده از دستگاه سرعت‌سنج در کانال برای به دست آوردن سرعت جریان آب

مقدار دبی جریان نیز با ضرب سرعت متوسط هر قسمت از مقطع کانال در مساحت آن قسمت و در نهایت جمع آنها به‌دست آمد. محیط خیس شده کانال با توجه به تقسیم‌های انجام شده برای هر قسمت محاسبه، و برای هر مقطع از جمع آن‌ها به دست آمد. همچنین شعاع هیدرولیکی کانال با تقسیم سطح مقطع جریان به پیرامون خیس شده در هر مقطع محاسبه شد. عرض سطح آب (طولی از مقطع جریان که با هوای آزاد در تماس می باشد) در هر کانال با استفاده از متر تعیین گردید.

شیب طولی سطح آب با بررسی در امتداد محور مرکزی کانال‌های پایدار منتخب اندازه‌گیری شد. با نصب دوربین ترازیاب در یک فاصله معین از کانال، دو قرائت دید جلو و دید عقب انجام شد. اختلاف قرائت پائین دست فاصله معین از قرائت بالادست و تقسیم آن بر فاصله مقدار شیب طولی سطح آب در هر کانال بدست آمد (شکل ۳).

شکل (۲):استفاده از دوربین ترازیاب برای اندازه گیری شیب کانال

با نمونه برداری از خاک دو دیواره و کف کانال و با استفاده از روش الک و هیدرومتر، منحنی دانه‌بندی برای هر کانال به دست آمد. منحنی دانه بندی برای محاسبه d_{50} هر کانال ترسیم گردید (شکل۳).

شکل (۳):تعیین دانه بندی خاک در آزمایشگاه مکانیک خاک به روش هیدرومتری

مقدار غلظت رسوبات در کانال‌ها باید تعیین و در معادلات مورد استفاده قرار گیرد، ولی بعلت حجم زیاد کار و همچنین پر هزینه بودن با استفاده از آمار رسوب ۵ ایستگاه تالار، دیوا، قران تالار، کسیلیان و گلوگاه استفاده شد. شکل ۴ مقادیر غلظت رسوبات اندازه گیری شده برای این ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. با استفاده از داده‌های موجود میانگین رسوبات در زمان استفاده از این کانال‌ها، یعنی زمانی‌که برداشت آب از کانال‌های موجود انجام می‌گرفت، کمتر از ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده است. لذا هر کانال پایداری که از آن ایستگاه تغذیه می‌شد، مقدار رسوب آن ایستگاه برای آن کانال لحاظ گردید.

معادلات جریان

بعد از اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز، معادلات رژیم Lacey (1930a)، Simons and Albertson (1960)، معادلات رژیم Blench (1957) و معادلات زند پارسا و جوان (۱۳۷۲) مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۱) و معادله مناسب برای منطقه تعیین گردید.

مقادیر ضرایب K_i و نمای m برای معادلات Simons and Albertson (1960) با توجه به مشخصات پنج نوع کانال ذکر شده در جدول ۲ که نوع بافت کف و جداره مربوط به هر کانال را مشخص می‌کند، در سیستم متریک در جدول۳ آورده شده است. سایر پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند. در معادلات زند پارسا و جوان (۱۳۷۲) ، شیب کانال برابر با شیب سطح آب در نظر گرفته شده است .

جدول (۲): مشخصات انواع کانال‌ها تقسیم بندی شده برای کاربرد در معادله Simons and Albertson (1960)

کف و جداره ماسه‌ای
کف ماسه‌ای و جداره چسبنده
کف و جداره چسبنده
مواد درشت دانه غیر چسبنده
مانند نوع ۲ اما با غلظت زیاد مواد معلق (۲۰۰ تا ۸۰۰۰ میلی گرم در لیتر)

جدول (۳): ضرایب و نمای معادلات (Simons and Albertson 1960)

ضرایب	نوع کانال				
	۱	۲	۳	۴	۵
K_1	۶/۳۵	۴/۷۱	۳/۹۸	۳/۱۷	۳/۱
K_2	۰/۵۷	۰/۴۸	۰/۴۱	۰/۲۵	۰/۳۷
K_3	۹/۳۵	۱۰/۷۷	-	۱۰/۸۶	۹/۷۱
K_4	۰/۳۳	۰/۵۴	۰/۸۷	-	-
m	۰/۳۳	۰/۳۳	-	۰/۲۹	۰/۲۹

جدول (۱): روابط مربوط به پارامترهای مورد نیاز معادلات مختلف رژیم جریان

معادله رژیم / فاکتور محاسبه شده	(Lacey 1930a)	(Simons and Albertson 1960)	(Blench 1957)	زند پارسا و جوان (۱۳۷۲)
محیط خیس شده (P)	$P = 4.75Q^{1/2}$	$P = k_1\sqrt{Q}$	-----	$R = 0.146Q^{0.3378}S^{0.1384}$
شعاع هیدرولیکی (R)	$R = 0.47(\frac{Q}{f})^{1/3}$	$R = K_2Q^{0.36}$	-----	$P = 2.77Q^{0.457}S^{-0.068}$
عرض سطح آب	-----	$b = 0.9p$	$B = 1.81(\frac{f_b \times Q}{f_s})^{1/2}$	-----
عمق متوسط	-----	$d = 1.2R \quad R < 2.1$ $d = 0.6 + 0.93R \quad R > 2.1$	$d = (\frac{f_s \times Q}{f_b^2})^{1/3}$	-----
شیب سطح آب	-----	$\frac{V^2}{g.d.s} = K_4(\frac{V \times b}{\nu})$	$s = \frac{(f_b)^{5/6} \times (f_s)^{1/12} \times \nu^{1/4}}{11.59(1+\frac{c}{2330}) \times g \times Q^{1/6}}$	-----
سرعت جریان آب	$V = 10.8(R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{3}})$	$V = K_3(R^2 \times S)^m$	-----	-----
معادلات کمکی	$f = 1.59(d_{50})^{1/2}$	-----	$f_b = 1.9(d_{50})^{1/2}(1+0.012c)$	-----

که در آن‌ها: P= محیط خیس شده (متر)، Q= دبی جریان (مترمکعب بر ثانیه)، R = شعاع هیدرولیکی (متر)، d_{50} قطر میانه ذرات بر حسب میلی‌متر می‌باشد. معادله لیسی در محدوده اندازه ذرات ۰/۱۵ تا ۰/ ۴ میلی‌متر و دبی ۰/۱۴ تا ۱۴۰ متر مکعب بر ثانیه صادق می‌باشد. f_s = ضریب ثابت، ۰/۳ برای جداره های چسبنده، ۰/۲ برای جداره های نسبتاً چسبنده و ۰/۱ برای جداره های غیر چسبنده، c= غلظت مواد معلق (p.p.m)، v= لزوجت سینماتیکی (متر مربع بر ثانیه)، B = عرض کانال (متر)، d = عمق آب (متر)، g= شتاب ثقل (متر بر مجذور ثانیه) و s= شیب سطح آب (متر بر متر) می‌باشد.

ارزیابی داده‌ها

معیارهای ارزیابی مختلفی وجود دارد که می‌تواند برای بررسی دقت مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی استفاده شود. معیارهای ارزیابی انتخاب شده، بستگی به هدف مطالعه دارد. در ارزیابی پارامترهای محاسبه شده توسط معادلات مختلف با توجه به پارامترهای آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) میانگین خطای مطلق (MAD) و درصد خطای نسبی در هر برآورد (RE) با استفاده از معادلات زیر محاسبه گردید:

$$RE = \left| \frac{par_m - par_c}{par_m} \right| \times 100 \quad \text{معادله(۱)}$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \times \sum_{I=1}^{n} \left[par_m - par_{cal} \right]^2 \right]^{1/2} \quad \text{معادله(۲)}$$

$$MAD = \left[\frac{1}{N} \times \sum_{I=1}^{n} \left[par_m - par_{cal} \right] \right] \quad \text{معادله(۳)}$$

که در آن‌ها: par_m: پارامتر اندازه‌گیری شده، par_{cal}: پارامتر محاسبه شده و N: تعداد مشاهدات می‌باشد. کم بودن میزان خطا (RMSE وMAE) و بالا بودن ضریب همبستگی (r) بیانگر دقت قابل قبول مدل و ملاک برتری آن خواهد بود.

نتایج و بحث

مقادیر داده‌های برداشت شده از ۲۰ کانال پایدار و دارای شرایط رژیم جریان پایدار منطقه در جدول ۴ نشان داده شد. مقادیر اندازه‌گیری شده در کانال‌های مورد مطالعه شامل مقادیر دبی جریان (Q)، سطح مقطع کانال (A)، سرعت جریان (V)، شیب سطح آب (S)، شعاع هیدرولیکی (R)، محیط خیس‌شده (P)، عمق متوسط کانال (D)، عرض کانال (B) و اندازه ذرات کف و جداره کانال (d_{50}) می‌باشد. بر اساس تحلیل اولیه داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از تغییرات سرعت در بخش‌های انتخابی در طول دوره اندازه‌گیری، باید اشاره کرد که مقاطع به طور کلی پایدار هستند. مجموعه داده‌های اندازه‌گیری‌های میدانی (عمق آب، شیب آب، سرعت و اندازه ذرات میانه) تجزیه و تحلیل شد و اندازه‌گیری‌های نادرست حذف شدند. هر مقطع اندازه گیری شده بر روی نرم افزار اتوکد رسم شد تا سطح مقطع، محیط خیس شده، عرض بستر و عرض سطح آب تعیین شود.

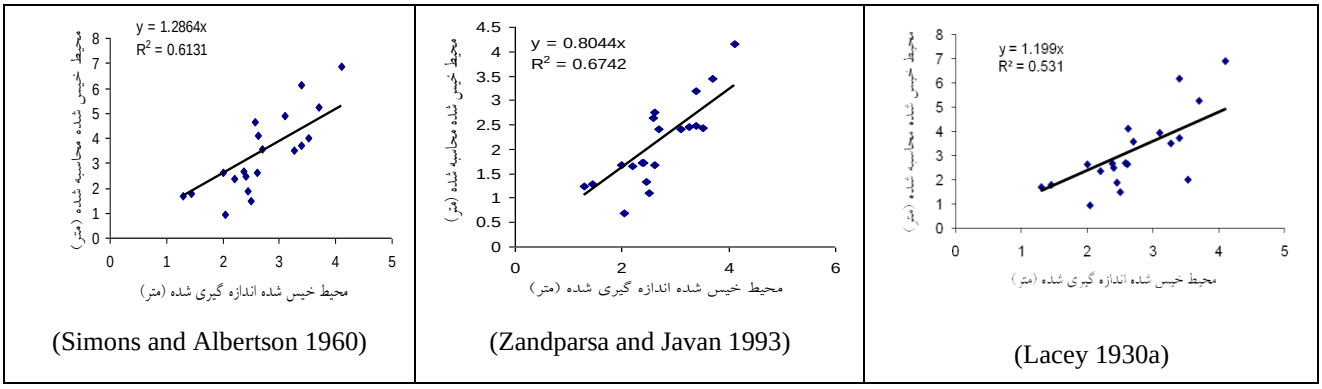
با توجه به آمار مربوط به ایستگاه‌های اندازه‌گیری مقادیر متوسط غلظت رسوب (c) در شکل ۴ نشان داده شد. برای محاسبات مقدار متوسط ۵۰۰ (p.p.m) در نظر گرفته شد.

مقایسه بین عمق اندازه گیری شده، سطح مقطع، شعاع هیدرولیکی، شیب، سرعت متوسط و آن‌هایی که با معادلات محاسبه شده‌اند در شکل‌های ۵ تا ۱۰ نشان داده شده است. بر اساس داده‌های شکل ۵ که همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری و محاسبه شده محیط خیس شده را نشان می‌دهد بهترین همبستگی در معادله زند پارسا و جوان (۱۳۷۲) مشاهده می‌شود. هم‌چنین براساس داده-های جدول ۵ در معادله زند پارسا و جوان (۱۳۷۲)، میانگین خطای مطلق (RMSE)، میانگین مربعات خطا (MAD) و درصد خطا (PE) اعداد کمتری را داشته است. اکبری و همکاران (۱۳۸۴) نیز معادله زند پارسا و جوان (۱۳۷۲) را بهترین معادله برای محاسبه محیط خیس شده معرفی نمودند و بیان داشتند که در این معادله به‌خاطر این که شیب را شیب تعادلی منطقه در نظر گرفته، برآورد مناسبی را نشان داده است. Chitale (1994) با مشاهدات کانال‌های موجود در هندوستان، ایالات متحده و مصر بیان نمودند که با با اعمال شیب تعادلی منطقه معادله ارایه شده همبستگی بهتری داشته است. در معادله زند پارسا و جوان (۱۳۷۲) بخاطر در نظر گرفتن شیب هیدرولیکی علاوه بر مقدار دبی باعث گردیده تا معادله همبستگی بهتری داشته باشد. البته معادله Simons and Albertson (1960) نیز همبستگی خوبی را نشان داده است. چرا که در معادلات سیمونز و آلبرستون انواع مختلف کانال‌ها تفکیک شدند.

جدول (۴): مشخصات اندازه گیری شده از چندین کانال پایدار موجود در حوزه های بابل رود وتالار در استان مازندران

نام ایستگاه	Q (m^3/s)	A (m^2)	V (m/s)	S (X1000)	R (m)	P (m)	D (m)	B (m)	d_{50} (mm)
نور رود	۰/۱۴۵	۰/۳۵	۰/۴۱۵	۰/۱۷	۰/۲۴	۱/۴۵	۰/۲۲	۱/۶	۰/۷۴
تمشه رود	۰/۶۲	۱/۲	۰/۵۱	۰/۲	۰/۱۸	۳/۴	۰/۴	۳	۰/۲۲
امام زاده رود	۰/۰۴	۰/۲۱	۰//۲۰	۰/۳۵	۰/۱	۲/۰۴	۰/۱۳	۱/۶	۱/۸
آقا رود	۲/۱۲	۳/۸۵	۸/۱	۰/۴	۰/۸۵	۴/۱	۰/۶۵	۶	۵/۸
بانی رود	۰/۵۵	۱/۰۵	۰/۵۲	۰/۱	۰/۳۱	۳/۳	۰/۴۵	۲/۳	۲/۸
بائی رود	۰/۱۶	۰/۵۲	۰/۳۱	۰/۲	۰/۲۱	۲/۵	۰/۲۶	۲	۲/۴
پید رود	۰/۲۸	۰/۶۱	۰/۴۶	۰/۲	۰/۲۵	۲/۴	۰/۲۳	۲/۷	۰/۱۷
مقری رود	۰/۳۱	۰/۴۳	۰/۷۳	۰/۶۷	۰/۱۶	۲/۶	۰/۲۳	۱/۹	۰/۲۸
سنگ رود	۰/۷۶	۱/۰۸	۰/۷	۰/۱۶	۰/۴۱	۲/۶	۰/۲۲	۴/۹	۰/۲۳
پینک-اوجاپشت	۰/۲۵	۰/۵۵	۰/۴۶	۰/۱۸	۰/۲۵	۲/۲	۰/۲۱	۲/۶	۰/۷۷
گلوگاه(بندپی)	۰/۱۳	۰/۳۲	۰/۴۱	۰/۱۵	۰/۲۵	۱/۳	۰/۱۸	۱/۸	۰/۵۷
یک رود	۰/۱۰	۰/۲۱	۰/۴۸	۰/۱۴	۰/۲۱	۲/۵	۰/۱۰	۲/۱	۰/۲۶
پاشا رود	۰/۱۸	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۱۶	۰/۱	۳/۵	۰/۱۸	۲/۱	۰/۳۶
لدار و امیرده	۰/۳۲	۰/۷۲	۰/۴۵	۰/۵	۰/۳	۲/۴	۰/۳۰	۲/۴	۰/۹۸
رستم بند	۱/۲۴	۲/۴۵	۰/۵	۰/۰۰۴	۰/۳۳	۳/۷	۰/۵۵	۴/۴	۰/۲۹
هتکه پشت	۴/۱۸	۳/۶۲	۱/۱۵	۰/۰۰۵	۰/۱۴	۲/۶	۰/۸	۴/۵	۷/۹
کشر پل خوار	۱/۷	۲/۴۸	۰/۶۹	۰/۰۰۴	۰/۷۲	۳/۴	۰/۶۰	۴/۱	۳
رکن	۰/۵۷	۱/۴۵	۰/۴۰	۰/۱۸	۰/۵۳	۲/۷	۰/۶۰	۲	۰/۵۹
شهرود بزرگ	۲/۸۱	۲/۵	۱/۱۲	۰/۰۰۵	۰/۸	۳/۱	۱/۱	۵	۵/۹
چالی	۰/۳۱	۰/۷۷	۰/۴۱	۰/۶۷	۰/۳۸	۲	۰/۳۸	۲	۰/۱۹

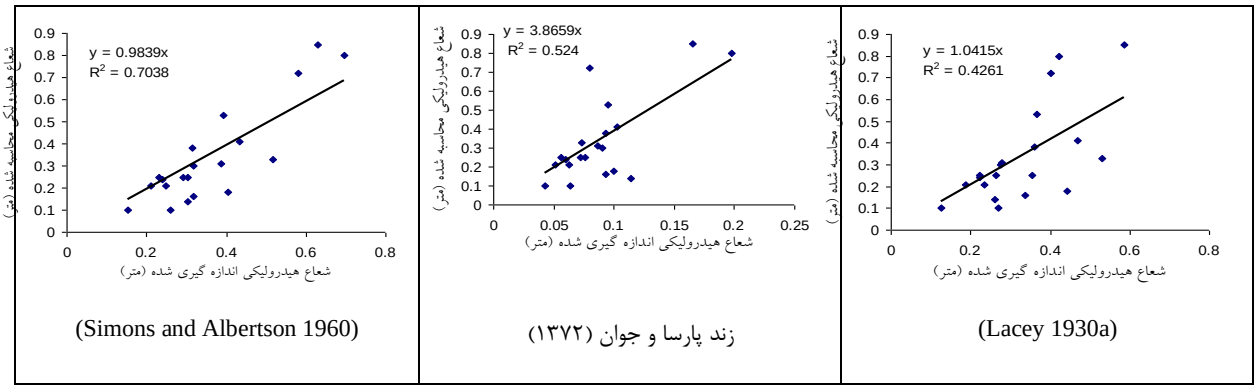
شکل(۴): مقادیر رسوبات اندازه گیری شده از ۵ ایستگاه موجود در منطقه



شکل (۵):مقایسه مقادیر محیط خیس شده اندازه‌گیری شده و محاسبه شده

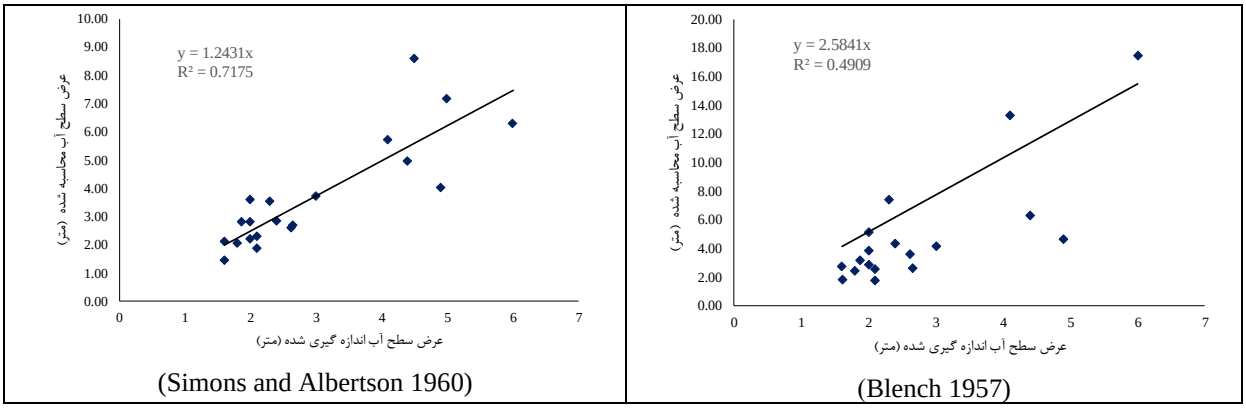
همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده شعاع هیدرولیکی در شکل ۶ و بررسی پارامترهای کیفی آن در جدول ۴ آمده است. معادله Simons and Albertson (1960) نسبت به معادلات دیگر برتری داشته است. در معادلات Simons and Albertson (1960) با توجه به این‌که ذرات تشکیل دهنده کف و جداره کانال‌ها تقسیم بندی شدند نزدیکی شرایط کانال موجود در منطقه با تقسیم بندی کانال‌های Simons and Albertson (1960) باعث همبستگی بهتر معادله گردیده است.

بعد از معادله Simons and Albertson (1960) بهترین برازش مربوط به معادله زند پارسا و جوان (۱۳۷۲) است زیرا در این معادله، شعاع هیدرولیکی علاوه بر دبی به شیب سطح آب نیز بستگی دارد و این امر در مرتفع کردن محدودیت در محدوده وسیع‌تری کاربرد داشته است و در نهایت شعاع هیدرولیکی محاسبه شده توسط معادلات Lacey (1930a) در مرتبه سوم جهت طراحی مجاری آبرفتی در استان مازندران، مناسب در نظر گرفته شد. اکبری نودهی و همکاران (۱۳۸۴) در بررسی معادلات شعاع هیدرولیکی، معادله زند پارسا و جوان (۱۳۷۲) را برای منطقه مورد مطالعه در استان فارس جهت طراحی ارائه دادند.



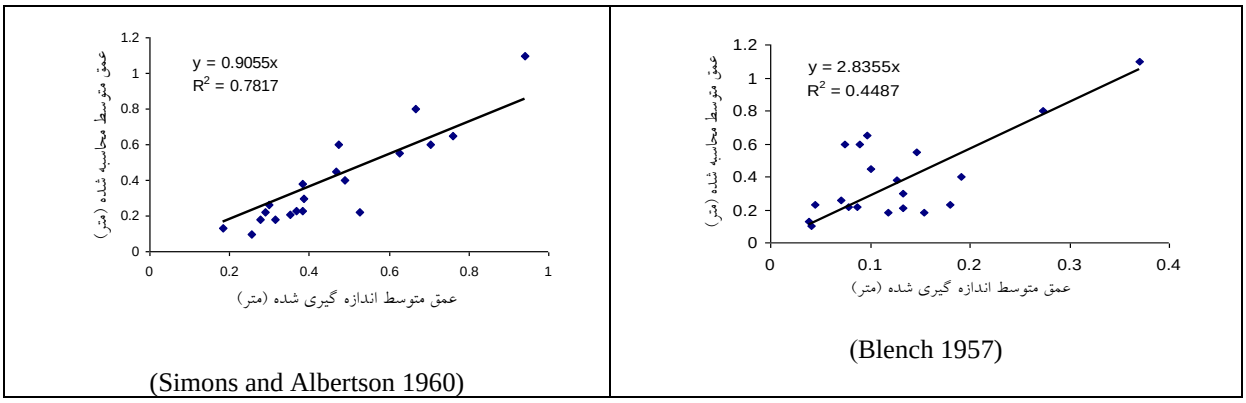
شکل (۶): مقایسه شعاع هیدرولیکی شده اندازه‌گیری شده و محاسبه شده

داده‌های عرض سطح آب حاصل از جدول ۳، رابطه بین مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شده عمق متوسط در شکل ۷ نشان داده شده است. بر اساس همبستگی بدست آمده و ارزیابی صورت گرفته (جدول ۴) Simons and Albertson (1960) معادله مناسب انتخاب شد. Deshpande and Kumar (2012) نیز معادله Simons and Albertson (1960) را بهترین معادله برای محاسبه عرض در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفتند البته بیان نمودند که با معادله Blench (1957) اختلاف معنی‌داری نداشته است.



شکل (۷): مقایسه عرض سطح آب اندازه‌گیری شده و محاسبه شده

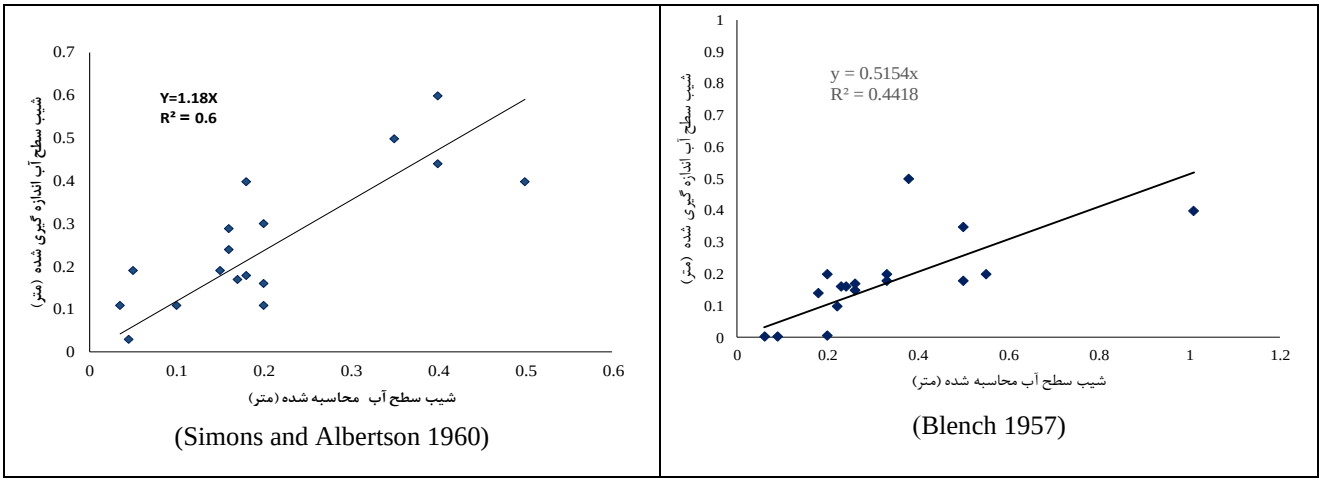
عمق متوسط (شکل ۸) بدست آمده از معادله Simons and Albertson (1960) دارای ضریب همبستگی و خطای کمتری نسبت به معادله Blench (1957) بوده است. Simons and Albertson (1960) عمق کانال را بر اساس ضریبی از شعاع هیدرولیکی در نظر گرفتند. با توجه به این‌که نوع ضرایب انتخابی برای محاسبه شعاع هیدرولیکی تا حدود زیادی مطابق با خصوصیات کانال‌های موجود در منطقه بود همبستگی مناسبی بدست آمد.



(Simons and Albertson 1960) (Blench 1957)

شکل (۸): مقایسه عمق متوسط اندازه‌گیری شده و محاسبه شده

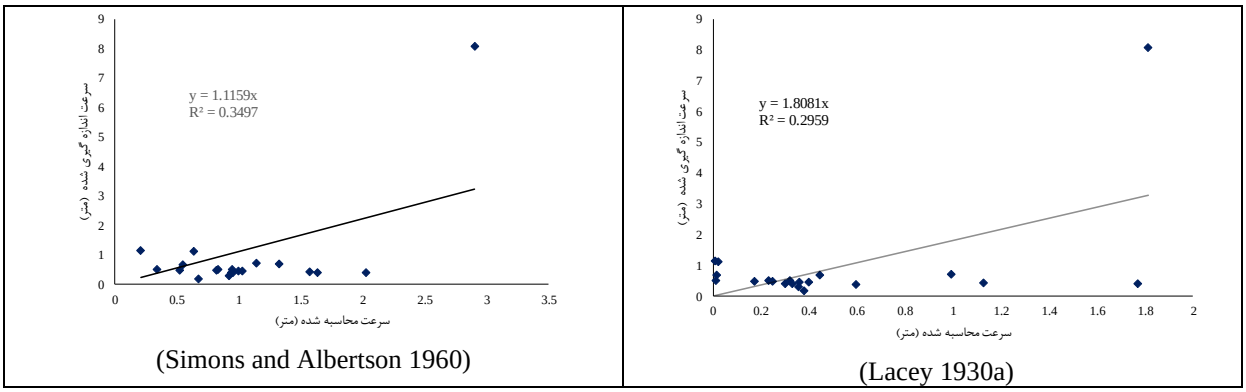
بر اساس داده‌های شیب سطح آب حاصل از جدول ۳، رابطه بین مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شده در شکل ۹ نشان داده شده است. معادله Simons and Albertson (1960) نسبت به معادله Blench (1957) همبستگی بیشتری داشته است. Deshpande and Kumar (2012)هم بر روی ۵ معادله تجربی رژیم جهت انتخاب بهترین معادله شیب را انجام داده و معادله Simons and Albertson (1960) را بعنوان بهترین معادله معرفی نمودند.



(Simons and Albertson 1960) (Blench 1957)

شکل (۹): مقایسه شیب سطح آب اندازه‌گیری شده و محاسبه شده

بر اساس داده‌های سرعت جریان آب حاصل از جدول ۳، رابطه بین مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شده در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به داده های شکل ۱۰ و جدول ۴ معادله Simons and Albertson (1960) همبستگی بهتری داشته است. Deshpande and Kumar (2012)در هندوستان بررسی معادلات مختلف را انجام داده و بیان نمودند معادله سرعت ارایه شده توسط Simons and Albertson (1960) مناسب منطقه بوده است. به نظر میرسد معادله Simons and Albertson کانال‌ها را بر اساس ذرات جداره و کف بستر تفکیک کرده برای مناطق مختلف سازگاری بهتری دارد.



(Simons and Albertson 1960) (Lacey 1930a)

شکل (۱۰): مقایسه مقادیر سرعت اندازه‌گیری شده و محاسبه شده

جدول (۴):مقادیر آماری میانگین خطای مطلق، میانگین مربعات خطا و درصد خطا با معادلات مختلف

فاکتور	میانگین خطای مطلق (MAD)				میانگین مربعات خطا (RMSE)				درصد خطای نسبی (RE)			
اندازه گیری شده	(Lacey 1930a)	زند پارسا و جوان (۱۳۷۲)	1960) (Simons and Albertson	Blench (1957)	(Lacey 1930a)	زند پارسا و جوان (۱۳۷۲)	1960) (Simons and Albertson	Blench (1957)	(Lacey 1930a)	زند پارسا و جوان (۱۳۷۲)	1960) (Simons and Albertson	Blench (1957)
محیط خیس شده	۱/۱۸	۰/۶۷	۰/۸۷	---	۱/۲۵	۰/۵۹	۰/۹۴	---	۳۰	۲۲	۲۹	---
شعاع هیدرولیکی	۱/۷	۱/۲	۰/۷	---	۲/۲	۱/۴	۰/۴۳	---	۳۳	۲۷	۲۵	---
عرض سطح آب	۳/۷	--	۰/۴۶	۳/۷	۱/۷	--	۰/۲۷	۰/۸۸	۴۷	--	۲۳	۴۷
عمق متوسط آب	-----	--	۰/۵۳	۰/۸۶ ۱/۲	-----	--	۰/۵۵	۰/۶	-----	--	۲۵	۴۰
سرعت جریان آب		--	۰/۹۹		۲	--	۰/۷		--	--	۵۳	۶۵
شیب سطح آب					۴		۱				۷۴	

معادلات پیشنهادی جهت طراحی مجاری آبرفتی در استان مازندران

روابط ارائه شده معادلات رژیم در مکان‌های مختلف با تردید مواجه بوده است، زیرا بار رسوبی و عوامل موثر دیگر از یک مکان به مکان دیگر به شدت متغیر می‌باشد (Wohl and Wilcox. 2005). با توجه به مقادیر اندازه گیری شده برای کانال‌های موجود در منطقه مورد مطالعه روابط تجربی زیر برای طراحی کانال‌ها پیشنهاد گردید.

شماره معادله	نوع معادله	معادله
۴	محیط خیس شده	$P = 2.9Q^{0.195} \quad R^2 = 0.48$
۵	شعاع هیدرولیکی	$R = 0.36\left(\frac{Q}{f}\right)^{0.25} \quad R^2 = 0.45$
۶	عمق	$d = 0.75\left(\frac{f_s \times Q}{{f_b}^2}\right)^{0.55} \quad R^2 = 0.37$
۷	عرض	$B = 1.74\left(\frac{f_b \times Q}{f_s}\right)^{0.23} \quad R^2 = 0.64$

برای کانال‌های موجود در منطقه رابطه محیط خیس شده و دبی به صورت معادله ۴ به دست آمد. بر اساس معادله ۴ مقادیر ۲/۹۳ و ۰/۱۴۷ برای ضریب معادله بدست آمده است در حالی که این ضرایب برای معادله Lacey (1930a)، ۴/۷۵ و ۰/۵ و برای معادله Simons and Albertson (1960)، ۴/۷۱ و ۰/۵ بوده است.

رابطه ۵ بین شعاع هیدرولیکی و دبی جریان بدست آمد. مقدار ضرایب برای معادله برابر ۰/۴ و ۰/۲۸۵ بدست آمده است در معادله لیسی (۱۹۳۰) این ضرایب ۰/۴۷ و ۰/۳۳ و برای معادله Simons and Albertson (1960) مقدار ۰/۴۸ و ۰/۳۶ می‌باشد.

برای کانال‌های موجود در منطقه رابطه عمق و دبی به صورت معادله ۶ به دست آمد. بر اساس معادله مذکور مقدار ضریب ۰/۸۶ متناسب با مقدار ارائه شده Blench (1957) می باشد. در حالی که ضریب توان ۰/۴۶ معادله مذکور بیشتر از معادله بلنچ ۰/۳۳ می باشد.

برای کانال‌های موجود در منطقه رابطه عرض و دبی به صورت معادله ۷ دست آمد.

مقدار ضرایب برای معادله مذکور ۱/۶۱ و ۰/۲۱ به دست آمده است در حالی که در Blench (1957) مقدار ۱/۸۱ و ۰/۵ به دست آمده است.

نتیجه گیری

مبانی تئوری مجاری پایدار بر معادله ساده تجربی نهفته است که با استفاده از اطلاعات صحرایی جمع آوری شده از کانال‌های در حال تعادل به دست آمده است. معادلات تجربی رژیم جریان رابطه بین متغیرهای وابسته محیط خیس شده، شعاع هیدرولیکی، عمق و شیب با متغیرهای مستقل دبی جریان، اندازه ذرات کف و با رسوبات را بیان می کند. عموماً این معادلات براساس اطلاعات به دست آمده از مناطق مشخص جغرافیایی بوجود آمده‌اند. برای استفاده از این معادلات لازم هست تا برای هر منطقه‌ای مورد ارزیابی قرار گیرند. لذا در این تحقیق معادلات مختلف رژیم در مجاری آبرفتی استان مازندران مورد ارزیابی قرار گرفته تا مناسب‌ترین معادله رژیم برای منطقه معرفی شود. نتایج نشان داد که معادلهٔ ارائه شده توسط Simons and Albertson (1960) به

علت اینکه برای کانال‌هایی با شرایط مختلف اندازهٔ ذرات کف و غلظت رسوبات مورد بررسی قرار گرفته شده است، برآورد بهتری را نشان داده است. در حالت کلی نتایج حاصل از محاسبات و بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهدکه معادلات مختلف رژیم با توجه به محدودیت‌های هر معادله، نتوانستند با همبستگی بالا برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد گردند. این به‌خاطر محدودیت‌های هر معادله با توجه به شرایط منطقه‌ای است که بدست آمده‌اند. لذا یکسری معادلات برای طراحی فاکتورهای مورد نیاز در کانال‌های آبرفتی برای منطقه مورد مطالعه ارایه گردیده است.

منابع

اکبری نودهی، د.، خلیلی،د.، زند پارسا، ش.، و جوان، م. ۱۳۸۴. بررسی معادلات رژیم در مجاری آبرفتی در منطقه کامفیروز استان فارس. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲ (۴). ۱-۹.

جایدری، ش.، و سلطانی، ش.۱۳۸۷. بهبود معادلات تجربی رژیم رودخانه کشکان با افزایش پارامترها. سومین کنفرانس مدیریت منـابع آب ۲۳ تا ۲۵ مهر. دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز.

زند پارسا، ش و م. جوان. ۱۳۷۲. بررسی معادلات رژیم در مجاری آبرفتی، نشریه آب. ۱۱. ۳۵-۲۳ .

طاهرشمس، ا.، و ایمان شعار، ف. ۱۳۸۹. تعیین معادلات رژیم رودخانه بر اساس معادله توان واحد جریان. نشریه مهندسی عمران و نقشه برداری. ۴۴(۱): ۷۳-۸۱.

Abdel-Aal, F.M. 1996. Design of stable channels, Ain Shams Sci. Bull. 31 (4) 200–208.

Abdelhaleem, F. S., Amin, A. M., and Ibraheem, M. M. 2016. Updated regime equations for alluvial Egyptian canals. Alexandria Engineering Journal. 505–512

Blench, T .1957. Regime behavior of canals and rivers. Butterworths, Sci. Pub., London.PP: 429-444.

Chitale, S. V. 1994. Lacey divergence equation for alluvial canal design. J. Hyd. Eng. ASCE. 120(11): 1320-1326.

Darby, S.E. 2005. Refined Hydraulic geometry data for British gravel-bed rivers. Journal of Hydraulic Engineering. 131(1): 60-64.

Deshpande, V., and Kumar, B. 2012. Review and Assessment of the Theories of Stable Alluvial Channel Design. Water Resources. 39(4). 481–487.

Hey, R.D., and Thorne, C.R. 1986. Stabl channels with mobile gravel beds. Journal Hyd Eng, ASCE. 112(8):671-689.

Kennedy R.G. 1895. The Prevention of Silting in Irrigation Canals. Proceedings Institution of Civil Engineers, London. 119:281-290.

Lacey, G. 1930a. Closure to "Stable channels in alluvium." Minutes of the Proc., Inst. of Civ. Engrs., London, England. 299: 353-384.

Lindley, E. S. 1919. Regime channels.Proc. Punjab Engrg. Cong. 7: 63-74.

Simons, D. B., and Albertson M. L.1960. Uniform water conveyance channels in alluvial Material. J. Hyd. Div., ASCE. 86(HY5): 33-71.

Wohl, E.E., and Wilcox, A. 2005. Channel geometry of mountain streams in Newealand. J. Hydrol. 300: 1(4). 252-266.

Xu, J. 2004.Comparison of hydraulic geometry between sand- and gravel-bed rivers in relation to channel pattern discrimination. Earth surface processes and landforms, 29(5): 645-657.