

اثر شرایط هیدرولیکی جریان (آب زلال) بالادست آبگیر کفی با محیط متخلخل بر میزان دبی انحرافی

فاطمه کورش وحید^{۱*} و کاظم اسماعیلی^۲

* - نویسنده مسئول، دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد
f_kooroshvahid@yahoo.com

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۷

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۱۰

چکیده

یکی از راه‌های تامین آب استفاده از منابع رودخانه است. اما ویژگی‌های روش‌های متداول همواره مشکلات متعددی را در این راستا بوجود آورده‌اند. ارائه شیوه‌های نوین امکان کاهش مشکلات بهره‌برداری از آب رودخانه را تا حد بسیار زیادی فراهم می‌کند. تاکنون بکارگیری صفحات مشبک در آبگیرهای کفی از روش‌های مرسوم در انحراف جریان از رودخانه‌های کوهستانی با شیب تند و رسوبات درشت‌دانه بوده است. بروز مشکلات ناشی از بکارگیری شبکه فلزی بر روی کانال انحراف ایده جایگزینی محیط متخلخل را مطرح می‌نماید. بدین منظور آزمایش‌هایی بر روی یک مدل فیزیکی به منظور بررسی شرایط هیدرولیکی جریان در بالادست آبگیر کفی با محیط متخلخل و نحوه تاثیر آن بر میزان و چگونگی انحراف و بررسی پروفیل‌های ایجاد شده سطح آب و سرعت در حالات مختلف متأثر از شرایط ورودی جریان و هندسه آبگیر انجام گردید. نتایج نشان داد میزان انحراف به شیب سطح بالایی آبگیر، اندازه ذرات محیط متخلخل و میزان جریان ورودی بستگی دارد. با افزایش شیب سطح بالایی، میزان انحراف جریان کاهش نشان می‌دهد. همچنین با افزایش جریان ورودی نرخ افزایش دبی انحراف ابتدا زیاد و سپس به مقدار ثابتی می‌رسد. اندازه ذرات محیط متخلخل نیز بر میزان دبی انحراف تاثیر قابل ملاحظه داشته چنانکه با افزایش اندازه ذرات، میزان دبی انحرافی روند افزایشی را نشان می‌دهد.

کلید واژه‌ها: آبگیر کفی، پروفیل سطح آب، جریان‌های با سطح آزاد، جریان متغیر مکانی، محیط متخلخل.

Flow Characteristics (clear water) Upstream Intake Bottom System With Porous Media on Flow Diversion

F. Koorosh Vahid¹, K. Esmaili²

1- Msc. Student of Water Structures Engineering, Dept., of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad,
2- Associated . Prof., Dept., of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 29.Feb.2012

Accepted: 17.March.2013

Abstract

One of the ways of water supply is used from river resource. Flow diversion from river has been foretime from the methods of water supply for different consumptions, yet, common methods has always created many problems in this case. A new idea offering decrease a lot of problems of river flow diversion. Applying bottom racks in bottom intakes to divert water from the mountain river with steep slopes and coarse sediments has been one of the most common methods in water diversion. Problems due to Exploitation on diversion channel propose new idea of bottom intake with porous medium. In order to experiments on a physical model done to investigate the hydraulic conditions of flow in bottom intake with porous medium upstream and influence procedure of that on the diversion rate and to study the different situations affect of inflow conditions of discharge and intake geometric on the profiles of water surface and velocity. Experimental results show that the diverted discharge of porous medium depend on surface slope of intake, grain size distribution of porous media, and inflow discharge to porous medium intake. As the surface slope increase, the diverted discharge decrease. when increasing the inflow discharge, the rate of diverted discharge

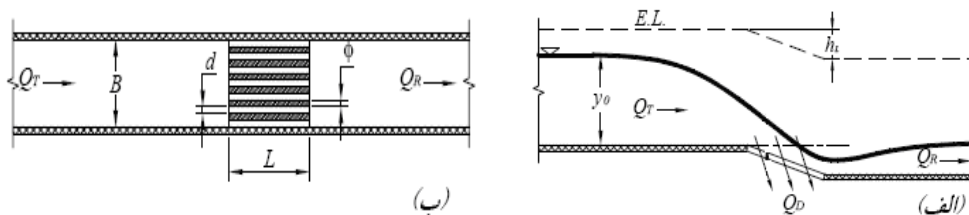
increases gradually and then reaches to a constant value. Grain size distribution has also significant effect on diverted discharge and coarser grains divert greater discharges.

Keywords: Bottom intake, Water surface profile, Free surface flow, Spatially varied flow, Porous media.

مقدمه

مواد جامد معلق در آب که از فاصله بین میله‌های شبکه این نوع آبگیر بزرگتر باشند، دارند. با وجود اینکه استفاده از آبگیر کفی یک راه ارزان و در عین حال کاملاً قابل اطمینان و مناسب برای آبگیری از رودخانه است، متأسفانه در حال حاضر به دلیل کمبود مطالعات همخوان با شرایط اقلیمی و طبیعت رودخانه‌های کشور، استفاده محدودی از این روش آبگیری می‌شود. بنابراین شناخت هرچه بیشتر این سازه و انجام تحقیقات کاربردی در این زمینه امری ضروری به نظر می‌رسد. بررسی منابع حاکی از آن است که مطالعاتی در گذشته در این زمینه در خارج از کشور و اخیراً در داخل انجام پذیرفته است که می‌توان به بررسی‌های انجام شده در ارتباط با پروفیل‌های سطح آب و سرعت اشاره کرد. اولین تعریف هیدرولیکی از

روش آبگیری از کف یکی از کارآمدترین و مطمئن‌ترین راه‌های آبگیری در رودخانه‌های کوهستانی با شیب تند و رسوبات درشت‌دانه است. در این روش پس از حفر یک ترانشه با مقطع مناسب در جهت عرضی، در قسمتی یا تمام عرض رودخانه (شکل ۱) اقدام به جمع‌آوری و انحراف جریان عبوری می‌شود. برای جلوگیری از ورود ذرات درشت‌دانه بستر از یک شبکه فلزی برای پوشش روی کانال انحراف استفاده می‌گردد (شکل ۱). معمولاً شبکه فلزی به منظور تسهیل در رانده شدن رسوبات حمل شده توسط رودخانه، شیبدار در نظر گرفته می‌شود. آبگیرهای کفی کاربردهای وسیعی در انحراف آب به سمت توربین‌ها، جمع‌آوری رواناب ناشی از بارندگی در خیابان‌ها، بزرگراه‌ها، عرشه پل‌های بزرگ و ته نشین نمودن رسوبات و



شکل ۱- تصویر آبگیر کفی در رودخانه کوهستانی برای یک نیروگاه برق آبی (اندرودی^۱ ۲۰۰۵) و نمایی از کف مشبک با میله‌های طولی (الف) مقطع طولی از موقعیت آبگیر (ب) پلان کف مشبک

معادله های دیفرانسیلی تغییرات سطح آب در جریان متغیر مکانی (S.V.F) با خروجی جانبی با در نظر گرفتن فرضیات فوق به صورت زیر در می آید:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Qy \left(-\frac{dQ}{dx} \right)}{gB^2 y^3 - Q^2} \quad (1)$$

در رابطه ۱، Q دبی جاری در کانال قبل از سرریز، B عرض کانال مستطیلی، y عمق جریان و g شتاب ثقل می باشد. همچنین سوبرامانیا و شوکلا^۶ (۱۹۸۸) در تحقیقات خود، پروفیل های شکل گرفته بر روی آبگیرهای کفی برای حالت افقی بستر را به ۵ شکل مطابق با جدول (۱) گزارش کردند (۹):

ریگتی و لانزونی^۷ (۲۰۰۸) الگوی جریان بر روی کف مشبک با میله های طولی را با اندازه گیری پروفیل سطح آب و سرعت و با استفاده از روش اندازه گیری نقطه ای در عمق بدست آوردند. آنها گزارش کردند که مولفه های قائم بردار سرعت در فضای بین میله ها بزرگ تر از مولفه های قائم سرعت در جریان روی میله ها می باشد. همچنین مولفه قائم سرعت با حرکت به سمت پایین دست بازشدگی، کمتر شده که حاکی از تقلیل دبی انحراف است. کاهش که در دبی انحراف متاثر از $\sin \alpha$ (بعد قائم زاویه ورودی سرعت جریان به شبکه) در جهت پایین دست به وجود می آید، به خصوصیت دو بعدی جریان بستگی دارد و در حالت یک بعدی حل مسئله به عنوان ضریب دبی مورد توجه قرار نمی گیرد. در واقع مقادیر بیشتر $\sin \alpha$ مربوط به قسمت بالادست شبکه می باشد و به خطوط جریانی مربوط است که در بخش ورودی نزدیک بستر و دارای مقادیر کمتری از سرعت می باشند. از سوی دیگر خطوط جریان با سرعت بیشتر که در بخش ورودی نزدیک سطح آب قرار گرفته اند، تحت تاثیر نیروی ثقل، انحراف کمتری پیدا کرده و لذا $\sin \alpha$ در قسمت پایینی شبکه دارای مقادیر کمتری می باشد (۸). استفاده از شبکه فلزی در آبگیرهای کفی مشکلاتی به همراه دارد که از مهمترین موارد آنها مشکلات مربوط به نگهداری سیستم و تخلیه رسوبات از سیستم است. به منظور فائق آمدن بر این مشکل، ایده جایگزینی یک محیط متخلخل با این سیستم مطرح می شود. در روش پیشنهادی آبگیرکفی با محیط متخلخل پس از حفر یک ترانشه با مقطع مناسب در جهت عمود بر امتداد جریان و قرار دادن سنگدانه ها در درون ترانشه، در قسمتی یا تمامی عرض رودخانه اقدام به انحراف جریان عبوری می شود. به منظور جلوگیری از حرکت سنگدانه ها در مسیر رودخانه و

آبگیرهای کفی توسط اورث^۱ و همکاران (۱۹۵۴) گزارش شده است. تحقیقات او با استفاده از کانالی با شیب ۲۰ درصد و پنج مقطع متفاوت برای شبکه فلزی انجام گرفته است (۷).

دراپیر^۲ در سال (۱۹۸۱) با استفاده از مدلی با ابعاد واقعی تحقیقاتی انجام داد و شیب بهینه برای کف مشبک را بین ۲۰ تا ۳۰ درصد گزارش نمود (۴). همچنین نقوی و همکاران (۱۳۸۸) گزارش کردند که افزایش سرعت ناشی از افزایش شیب، شرایط انحراف جریان را به شدت تحت تاثیر قرار می دهد. افزایش شیب سبب تسهیل در رانده شدن رسوبات به پایین دست آبگیر می شود (۲).

کانتزمن و بووارد^۳ (۱۹۵۴) اولین روش محاسباتی را برای بدست آوردن پروفیل سطح آزاد آب بر روی کف مشبک با فرض ارتفاع معادل انرژی ثابت و معادلات معمول روزنه گزارش کردند. توزیع فضایی دبی به صورت تابع دیفرانسیلی خطی از درجه شش با مختصات جریان، حاصل این تحقیقات بود که این معادله برای یک کف مشبک افقی حل گردید (۵).

دیمارش^۴ (۱۹۴۷) با تعمیم معادله ها در مورد سرریزهای جانبی و فرض ارتفاع معادل انرژی ثابت در طول کف مشبک توانست پروفیل سطح آزاد آب را پیش بینی کند (۳). بر اساس نتایج او انحراف تمام جریان ورودی با در نظر گرفتن ارتفاع آب در بالادست برای انرژی های کم می تواند در طول خروجی کمی رخ دهد و در ترازهای بالاتر در طول خروجی بیشتری اتفاق بی افتد.

نحوه ی قرارگیری آبگیر کفی در مقطع رودخانه به گونه ای است که با عبور جریان آب از روی آن مقداری از دبی رودخانه (مقدار مورد نیاز) در طول آبگیر کاهش می یابد. با فرض شرایط پایدار برای جریان رودخانه، ویژگی جریان از نظر هیدرولیکی بر روی آبگیر را می توان از نوع متغیر مکانی با کاهش دبی دانست. حقیقی در سال (۱۳۸۳) گزارش کرد تغییرات دبی و متعاقباً پروفیل سطح آب در محل آبگیر، تابعی از شیب طولی آبگیر، ابعاد شبکه اشغالگیر و طول آبگیری می باشد (۱).

موسکو^۵ (۱۹۵۷) روابطی را برای پروفیل سطح آب در حالت جریان متغیر مکانی (S.V.F) با در نظر گرفتن فرضیات ذیل گزارش نمود:

۱- کانال مستطیلی و منشوری شکل است.

۲- ضریب تصحیح انرژی جنبشی $\alpha = 1$ در نظر گرفته شود.

۳- انرژی مخصوص E در طول کف مشبک ثابت در نظر گرفته می شود.

۴- انرژی موثری که باعث ایجاد جریان در کف مشبک می گردد برابر با انرژی مخصوص E است (۶).

1 - Orth

2 Drobir

3 - Kunterman and Bouvard

4 - De March

5 - Mostkow

6 -Subramanya and Shukla

7 -Righetti and Laronzi

جدول ۱- انواع پروفیل‌های شکل گرفته بر روی آبگیر کفی (سوبرامانیا و شوکلا، ۱۹۸۸)

نوع پروفیل	جریان در بالادست	نوع جریان بر روی آبگیر	جریان در پایین دست
A1	زیر بحرانی	فوق بحرانی	پرش هیدرولیکی
A2	زیر بحرانی	در قسمتی از طول فوق بحرانی	زیر بحرانی
A3	زیر بحرانی	زیر بحرانی	زیر بحرانی
B1	فوق بحرانی	فوق بحرانی	پرش هیدرولیکی
B2	فوق بحرانی	در قسمتی از طول فوق بحرانی	زیر بحرانی

باقیمانده لازم بود کانال در قسمت پایین دست آبگیر کفی، دو طبقه اجرا شود طوری که جریان عبور کرده از محیط متخلخل از قسمت پایینی و جریان باقیمانده از قسمت فوقانی آن انتقال یابد. تراز کف کانال فوقانی (پایین دست آبگیر) بر مبنای برآوردهای اولیه از بیشترین عمق احتمالی در کانال پایین دست برابر ۱۰ سانتی متر تعیین شد. کانال تحتانی بالادست آبگیر در محل آبگیر توسط یک صفحه پلکسی گلس مسدود شد. برای اندازه‌گیری جریان از یک سرریز مستطیلی در بالادست (ورودی جریان به کانال) و یک سرریز در پایین دست به ترتیب برای تعیین جریان ورودی و جریان باقیمانده (عبور نکرده از محیط متخلخل) استفاده شد. دبی انحرافی از محیط متخلخل از تفاوت جریان ورودی به کانال و جریان عبور کرده از روی سرریز پایین بدست می‌آمد. برای کاهش تلاطم ایجاد شده پس از عبور جریان از روی سرریز، حوضچه‌ای در ابتدای کانال و در پایین دست سرریز طراحی شد. همچنین برای جلوگیری از اثر سرریز بر جریان بالادست، آن را در قسمت شیب‌دار انتهای کانال نصب نموده و یک توری گالوانیزه با مش‌های ریز برای آرام نمودن جریان قبل از آن قرار داده شد (شکل ۲).

به منظور شبیه‌سازی آبگیر کفی و محیط متخلخل، سه محفظه از جنس آهن گالوانیزه با شیب‌های سطح بالایی $1:10$ ، صفر، $1:10$ و $2:10$ درصد، عرض 30 سانتی متر، طول ثابت 20 سانتی متر و ارتفاع 10 سانتی متر ساخته شد. اختلاف ارتفاع دیواره بالادست و پایین دست محفظه ساخته شده موجب شیب‌دار شدن سطح بالایی محفظه پس از پر شدن از مواد سنگدانه‌ای می‌گردد. بنابراین ارتفاع دیواره پایین دست ثابت 10 سانتی متر و ارتفاع دیواره بالادست مطابق با تراز کف کانال بالادست آبگیر در ارتفاع‌های 10 ، 12 و 14 سانتی متر تغییر می‌کرد (شکل ۳). برای جلوگیری از حرکت سنگ دانه‌ها در سطح محیط متخلخل ناشی از عبور جریان، از یک توری گالوانیزه برای تثبیت آن استفاده شد (شکل ۴). از آنجا که جریان ورودی به محیط آبگیر فقط امکان خروج از دیواره پایین دست را داشت، برای

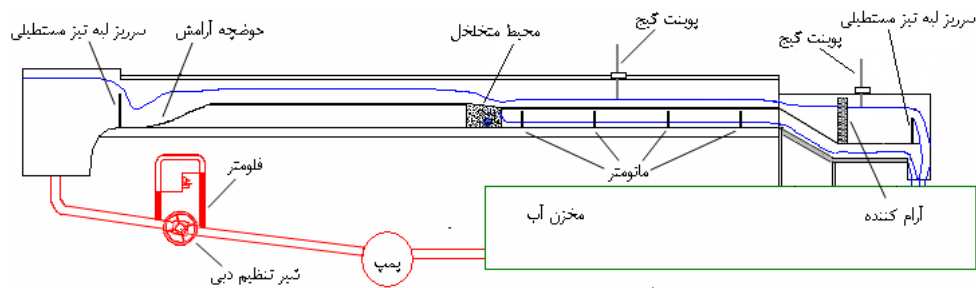
کانال انحراف، سنگدانه‌ها قبل از قرار گیری در ترانشه در گابیونی مناسب قرار می‌گیرند.

در این تحقیق به بررسی شرایط هیدرولیکی جریان در کانال اصلی و تاثیر خصوصیات محیط سنگدانه‌ای کانال انحراف بر میزان جریان عبوری از آن پرداخته شد. از آنجا که اندازه دانه‌بندی ذرات محیط متخلخل، شیب سطح بالایی محیط متخلخل و میزان دبی در شکل‌گیری پروفیل‌های سطح آب نقش قابل ملاحظه‌ای دارند، تغییر در هر یک از پارامترها نوع خاصی از پروفیل سطح آب را به وجود می‌آورد. در این مقاله سعی بر آن است که اثر عوامل موثر انتخابی بر نحوه شکل‌گیری پروفیل‌های سطح آب و سرعت بر روی آبگیر کفی مورد ارزیابی قرار گیرد و تاثیر آن بر میزان جریان انحرافی مشخص شود.

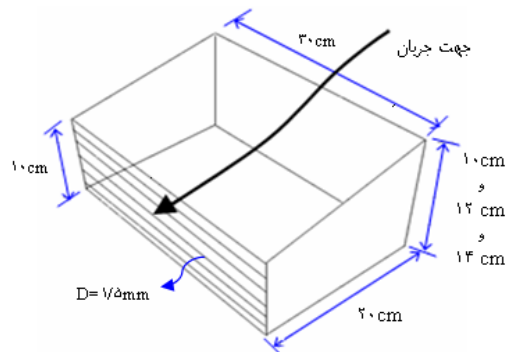
گرچه شیوه انحراف جریان از نظر هیدرولیکی در دو روش انحراف از طریق کف مشبک و انحراف جریان از طریق محیط متخلخل در کف با یکدیگر متفاوت است اما دارای شباهت‌هایی نیز می‌باشند. چنانکه جریان اصلی بر روی آبگیر متغیر مکانی با دبی کاهشی بوده و لذا پروفیل‌های تشکیل شده بسیار شبیه به هم پیش‌بینی می‌شود. اما جریان عبوری از کف مشبک رفتار جریان در روزنه را داشته در حالی که عبور جریان از محیط متخلخل بسته به رژیم جریان در این محیط، متغیر خواهد بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها از فلوم موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با مشخصات: طول 10 متر، عرض 30 سانتی متر و ارتفاع 50 سانتی متر استفاده گردید. دیواره فلوم از شیشه، که امکان رویت جریان را فراهم می‌نمود و کف آن از ورق گالوانیزه رنگ شده ساخته شده است. به منظور قرارگیری مواد سنگ دانه در فلوم موجود یک فضای خالی (ترانشه) به فاصله پنج متر از ابتدای کانال در نظر گرفته شد (فاصله‌ای که جریان کاملاً توسعه یافته شده باشد). کانالی دو طبقه از ورق پلکسی گلس در بالادست و پایین دست محل تعیین شده برای آبگیر ساخته شد. برای تفکیک جریان عبور کرده از محیط متخلخل و جریان



شکل ۲- نمای کلی از مدل ساخته شده در آزمایشگاه



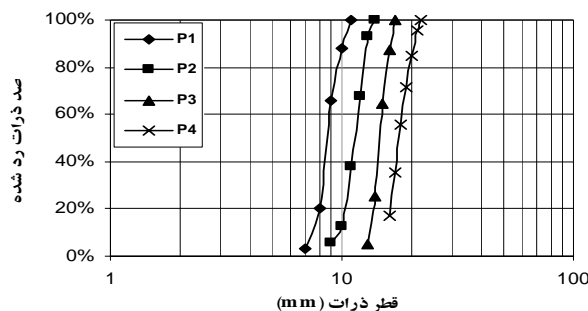
شکل ۳- نمای سه بعدی از فضای محیط متخلخل



شکل ۴ - نمای کلی از محیط متخلخل آبرگیر

جلوگیری از حرکت مواد سنگ دانه و مقاومت ایجاد شده در برابر جریان به علت کاهش سطح مقطع، از میله‌های باریکی به قطر ۱/۵ میلی متر که بصورت موازی قرار گرفته و دیواره پایین دست را تشکیل می‌دهند، استفاده شد. فاصله بین میله‌ها ۷ میلی متر و کمتر از کوچکترین قطر متوسط سنگدانه‌ها ($d_{50} = 1/5 \text{ mm}$) در نظر گرفته شد. در این مطالعه از چهار نوع دانه‌بندی برای محیط متخلخل با نماد P_1, P_2, P_3, P_4 و قطر متوسط ذرات d_{50} به ترتیب ۸/۵، ۱۱/۵، ۱۴/۵ و ۱۷/۵ میلی متر از مصالح رودخانه‌ای انتخاب شد تا بتوان اثر اندازه ذرات

محیط متخلخل را بر میزان جریان انحرافی توسط آبرگیر مورد بررسی قرار داد. به منظور یکنواختی مواد سنگ دانه از روش دانه‌بندی استاندارد ASTM استفاده شد. منحنی دانه‌بندی مواد انتخابی در شکل ۵ مؤید موارد فوق است. برای جلوگیری از قرارگیری ذرات ریز در فضای مابین ذرات درشت‌تر که باعث کاهش فضای خالی بین ذرات و در نتیجه کاهش جریان عبوری از محیط متخلخل می‌شوند، سعی گردید مواد انتخابی از یکنواختی مناسبی برخوردار باشند، بطوری که ضریب یکنواختی $C_u < 1/2$ حاصل گردید.



شکل ۵ - منحنی دانه‌بندی سنگدانه‌ها در محیط متخلخل

سیستم‌های انحراف همواره سعی می‌گردد شرایط به گونه‌ای ایجاد گردد تا بتوان دبی طرح را برداشت نمود. هرچند با افزایش جریان رودخانه امکان انحراف جریان بیشتری وجود دارد اما سیستم انحراف تحت هر شرایط هیدرولیکی روند یکسانی در انحراف جریان نشان نمی‌دهد. در این تحقیق با آزمایش‌های متعددی بر روی مدل فیزیکی ساخته شده، نتایج مربوط به میزان انحراف جریان Q_d بر اساس میزان دبی ورودی Q_i در چهار نوع دانه‌بندی مصالح محیط متخلخل و در سه شیب سطح آبیگر مورد بررسی قرار گرفت. در آزمایش‌های مشاهده شد با افزایش دبی جاری در کانال، میزان دبی انحراف روند افزایشی داشته که این روند در تمامی حالات چهار دانه‌بندی تقریباً یکسان است. هر چند که روند افزایش دبی انحراف با افزایش دبی ورودی مشاهده می‌شود اما به تدریج و با افزایش دبی ورودی از شیب افزایش جریان انحرافی کاسته شده به مقدار ثابتی می‌رسد. مطابق با شکل (۶)، درصد افزایش دبی انحرافی با افزایش دبی ورودی کاهش می‌یابد. به عنوان مثال، در دانه‌بندی P_1 در شیب ۱۰ درصد محیط متخلخل، درصد دبی انحرافی $(Q_d^* = Q_d / Q_i)$ در دبی $3/4$ لیتر بر ثانیه برابر با ۱۰۰ درصد و در دبی $23/8$ لیتر بر ثانیه درصد برابر با ۲۹ درصد می‌باشد.

اندازه ذرات نیز از عوامل موثر بر میزان جریان انحرافی در آبیگرهای کفی با محیط متخلخل می‌باشد. نتایج به دست آمده به ازاء یک دبی ورودی مشخص (Q_i) نشان می‌دهد، با افزایش اندازه ذرات، درصد دبی انحرافی افزایش دارد (شکل ۶). از مقایسه دو دانه بندی P_4 و P_1 در شکل ۶ مشاهده می‌شود (Q_d^*) در $Q_i = 23/8$ لیتر بر ثانیه برای P_1 برابر با ۲۲ درصد و در مورد P_4 برابر با ۲۷ درصد می‌باشد که حاکی از آنست که دانه‌بندی P_4 (درشت‌تر) نسبت به دانه‌بندی‌های ریزتر، دبی بیشتری به علت بیشتر بودن فضاهای خالی در این دانه‌بندی از خود عبور می‌دهد. همچنین نتایج ترسیم شده در شکل ۷ که مربوط به یک نوع دانه‌بندی محیط متخلخل می‌باشد، نشان می‌دهد با افزایش S_p انحراف جریان کاهش می‌یابد اما با افزایش دبی ورودی درصد جریان انحرافی به ازای

در تمام آزمایش‌ها شیب فلوم (S_0)، ثابت و برابر $0/05$ در نظر گرفته شد. تغییرات دبی جریان (جریان آب زلال) در این آزمایش‌ها بین حداقل $3/4$ تا حداکثر $23/8$ لیتر بر ثانیه بوده است. برای اندازه‌گیری عمق جریان در کانال بالادست از عمق‌سنج با دقت $0/1 \pm$ میلی‌متر و در کانال تحتانی از مانومتر با دقت $0/5 \pm$ میلی‌متر استفاده شد.

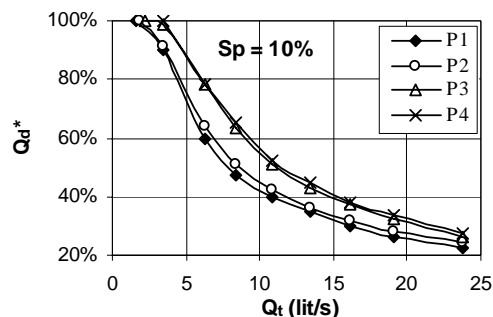
متغیرهای مورد بررسی

از آنجا که آزمایش‌ها در یک کانال آزمایشگاهی با شیب و ابعاد مشخص انجام شده است برخی از پارامترها همچون شیب طولی کانال، عرض کانال، طول آبیگر و عرض آن ثابت در نظر گرفته شده است. از این رو میزان دبی انحرافی به نظر می‌رسد تابعی از میزان دبی ورودی، عدد فرود جریان و اندازه ذرات مواد متخلخل و شیب سطح بالایی آبیگر باشد. اگر نسبت دبی انحراف به دبی ورودی را به عنوان متغیر وابسته در نظر گیریم سایر متغیرهای بعنوان متغیرهای مستقل خواهند بود. به دلیل بالا بودن عدد رینولدز (حداقل عدد رینولدز بالادست 8600) نیز از اثر این عامل نیز صرف‌نظر می‌شود. همچنین به علت آنکه حضور قطر متوسط d_{50} اثر تخلخل (n) محیط آبیگر را در خود دارد از ورود تخلخل به محاسبات خودداری شده است. S_p شیب سطح بالایی محیط متخلخل و لازم $Fr_o = \frac{V_o}{\sqrt{g y_o}}$ عدد فرود جریان بالادست آبیگر است. لازم به یادآوری است به دلیل آنکه در این مقاله عمدتاً "به ویژگی‌های پروفیل سطح آب پرداخته شده و نتایج حاصل از آنالیز ابعدی کاربرد زیادی ندارد از ارائه آن خودداری می‌شود.

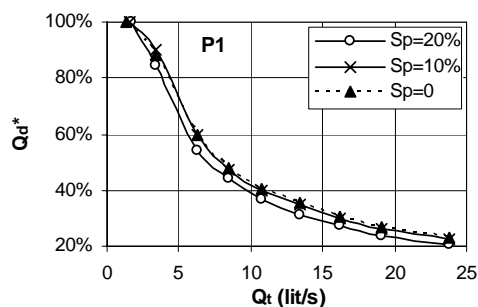
نتایج و بحث

گذردهی جریان انحرافی

به طور کلی میزان جریان انحرافی توسط آبیگرها تابعی از میزان جریان ورودی است. در مواردی که شرایط طبیعی رودخانه اجازه دهد و آبیگر در ابعاد لازم طراحی شده باشد، می‌توان تمامی جریان رودخانه را منحرف کرد. در طراحی



شکل ۶- میزان درصد دبی انحرافی با افزایش دبی ورودی



شکل ۷- میزان درصد دبی انحرافی با افزایش شیب سطح آبگیر

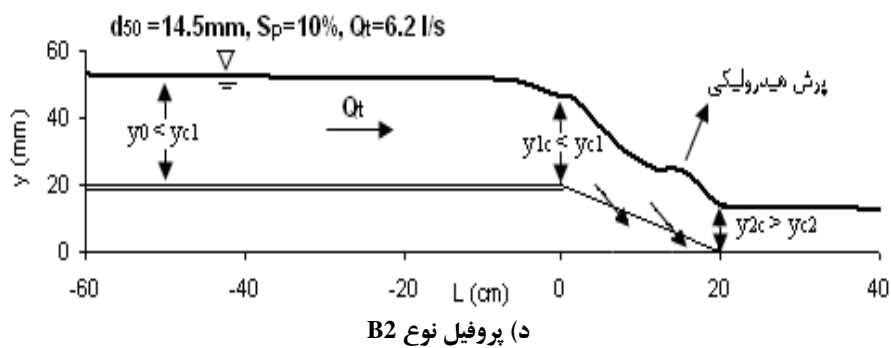
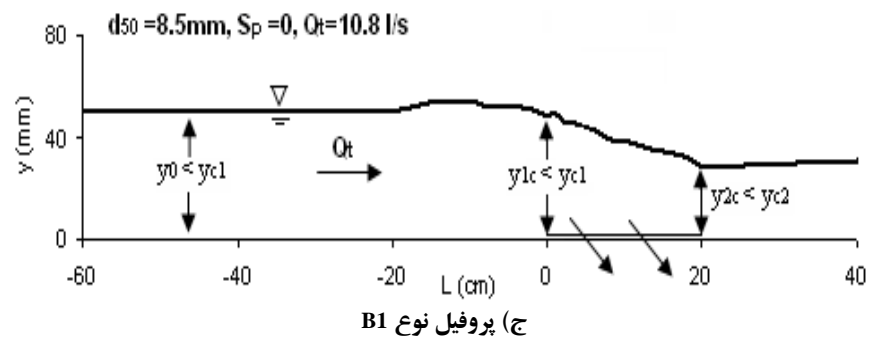
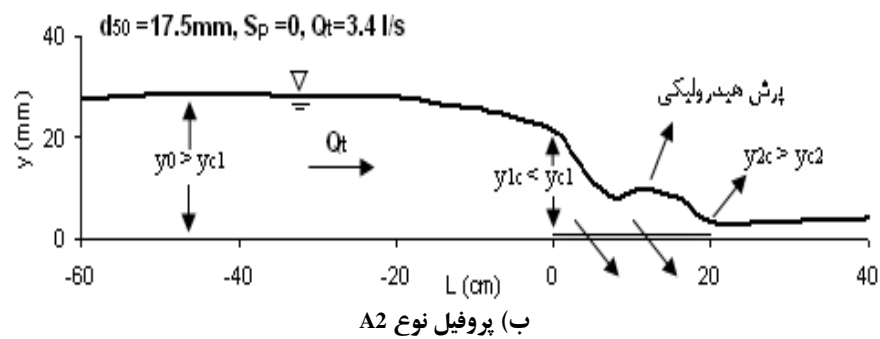
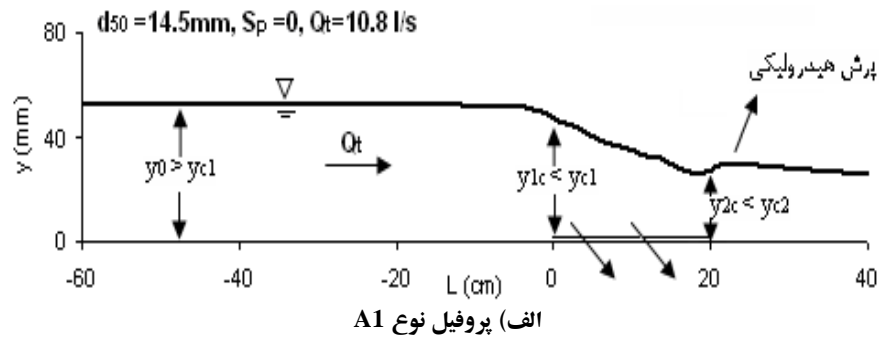
شوگلا (۱۹۸۸) در مورد پروفیل‌های سطح آب در آبگیرهای کفی با کف مشبک دارد.

در شرایط زیر بحرانی جریان در بالادست آبگیر، پروفیل A1، A2، A3 و در شرایط فوق بحرانی جریان در بالادست، پروفیل B1 و B2 تشکیل می‌گردد. در پروفیل‌های A1، A2، A3 و B2 عمق آب با نزدیک شدن به آبگیر روند کاهشی دارد اما در پروفیل B1 عمق آب با نزدیک شدن به محیط متخلخل، ابتدا بتدریج شروع به افزایش نموده و بعد از مسافتی شروع به کاهش می‌نماید. در پروفیل‌های شکل گرفته A1 و B1، پرش هیدرولیکی در دبی‌های کم بلافاصله بعد از محیط متخلخل در کانال فوقانی اتفاق می‌افتد و با افزایش تدریجی دبی، پرش هیدرولیکی نیز به سمت پایین دست کانال رانده می‌شود. در پروفیل‌های B2 و A2 پرش بر روی آبگیر اتفاق می‌افتد. بیشترین پروفیل‌های مشاهده شده در این تحقیق از نوع B1 می‌باشد. شکل ۸ نمونه‌ای از انواع پروفیل‌های برداشت شده سطح آب و جدول (۲) ویژگی‌های هیدرولیکی آنها را که شامل، y_0 عمق نرمال کانال بالادست، y_{1c} عمق جریان در شروع آبگیر، y_{c1} عمق بحرانی در شروع آبگیر، y_{2c} عمق جریان در انتهای آبگیر، y_{c2} عمق بحرانی در انتهای آبگیر و Fr_0 عدد فرود در بالادست آبگیر، براساس ۵ نوع پروفیل ارائه شده توسط سوبرامانیا و شوگلا (۱۹۸۸) نشان می‌دهد. مقطع صفر در بالادست آبگیر، مقطع ۱ در ابتدای آبگیر و مقطع ۲ در انتهای آبگیر در نظر گرفته شده است.

تمامی شیب‌ها کاهش می‌یابد که مقدار آن در دبی‌های بیشتر، بیشتر است. در واقع افزایش شیب سطح آبگیر، افزایش سرعت جریان را در پی داشته و باعث کاهش دبی انحراف خواهد شد. مطابق با شکل ۷، کاهش (Q_d^*) از شیب صفر نسبت به شیب ۱۰ درصد چشمگیر نیست ولی کاهش (Q_d^*) از شیب ۱۰ به ۲۰ درصد قابل توجه است. یادآور می‌شود که بررسی عدد فرود بالادست نسبت به دبی نسبی عبوری (Q_d^*) نیز مورد توجه قرار گرفت. نتایج بررسی نشان داد مقدار عدد فرود برای تمامی آزمایش‌ها تقریباً ثابت است که حاکی از مستقل بودن جریان انحرافی از شرایط هیدرولیکی بالادست می‌باشد. این مفهوم نیز قابل استنتاج است که تغییرات ایجاد شده در آبگیر از نظر شیب سطح بالایی و نیز ابعاد سنگ دانه‌های مورد استفاده در ترکیب با یکدیگر شرایط را به گونه‌ای مهیا می‌نماید که وضعیت هیدرولیکی بالادست تغییر ننماید.

پروفیل‌های سطح آب

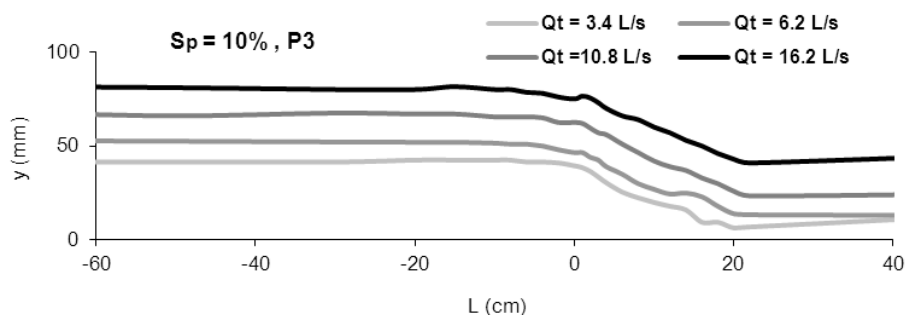
یکی از ویژگی‌های هیدرولیکی در جریان‌های روباز نوع پروفیل‌های سطح آب است که متأثر از شرایط جریان می‌باشد. در این تحقیق پروفیل‌های سطح آب بر اساس نتایج بدست آمده بر روی آبگیر کفی با محیط متخلخل مورد بررسی قرار گرفت، که حاکی از تطابق مناسب با نتایج تحقیقات سوبرامانیا و



شکل ۸ - انواع پروفیل تشکیل یافته بر روی آبگیر کفی با محیط متخلخل

جدول ۲ - نتایج هیدرولیکی نمونه‌ای از پروفیل‌های سطح آب بر روی آبگیر کفی با محیط متخلخل

y_{1c}	y_{c1}	y_{2c}	y_{c2}	y_o	Fr_o	جریان در بالادست	نوع جریان بر روی آبگیر	جریان در پایین دست	نوع پروفیل
(mm)					عمق				
۴۷/۵	۵۰/۹۴	۲۵	۳۱/۴۱	۵۳	۰/۹۴	زیر بحرانی	فوق بحرانی	پرش هیدرولیکی	A1
۲۱/۵	۲۳/۵۷	۵	۴	۲۸	۰/۷۵	زیر بحرانی	در قسمتی از طول فوق بحرانی	زیر بحرانی	A2
۴۸/۵	۵۰/۹۴	۲۹	۳۶	۴۹	۱/۰۸	فوق بحرانی	فوق بحرانی	پرش هیدرولیکی	B1
۲۶/۵	۳۵/۱۸	۱۴	۱۲/۸۶	۳۳	۱/۱۱	فوق بحرانی	در قسمتی از طول فوق بحرانی	زیر بحرانی	B2

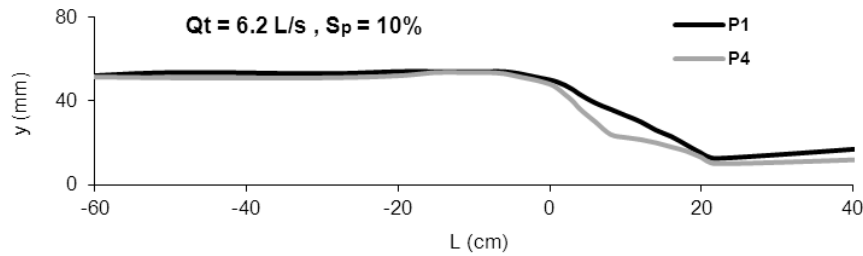
شکل ۹ - مقایسه پروفیل‌های سطح آب در دانه‌بندی P3 ($d_{50} = 14/5$ mm) و S_p برابر ۱۰ درصد در دبی‌های مختلف

درشت‌تر می‌باشد. به عبارت دیگر با افزایش قطر دانه‌بندی ذرات، فضای خالی بین ذرات افزایش یافته و جریان بیشتری از آبگیر عبور می‌کند.

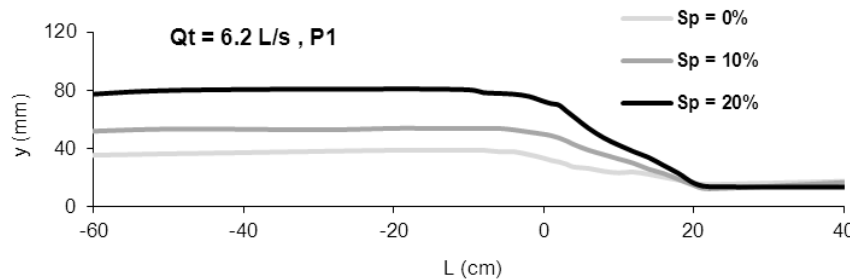
پروفیل‌های ترسیم شده در شکل (۱۱) نشان می‌دهند سطح آب بر روی آبگیر در شیب‌های کم محیط متخلخل، انحنا بیشتری نسبت به شیب‌های بالاتر دارد. لذا به نظر می‌رسد در شیب‌های کم به علت پایین بودن سرعت جریان، میزان دبی عبوری از محیط متخلخل افزایش یابد. با ازدیاد شیب، بر سرعت جریان روی آبگیر افزوده شده از میزان تماس و عبور جریان از محیط متخلخل کاسته می‌شود و عبور جریان از روی آبگیر افزایش یافته سطح آب یکنواخت‌تر خواهد شد.

با مقایسه پروفیل‌های سطح آب برای دانه‌بندی P_1 در سه شیب صفر، ۱۰ و ۲۰ درصد در شکل (۱۱) ملاحظه می‌شود در شیب کمتر محیط متخلخل، بیشترین دبی در ابتدای آبگیر منحرف می‌شود و مقادیر کمتری از جریان به انتهای آبگیر رسیده از میزان دبی منحرف شده کاسته می‌شود. با افزایش شیب محیط متخلخل، جریان بر روی آبگیر شتاب گرفته انحراف دبی در ابتدای آبگیر تقلیل می‌یابد و روند کاهش دبی در طول آبگیر مشاهده می‌گردد

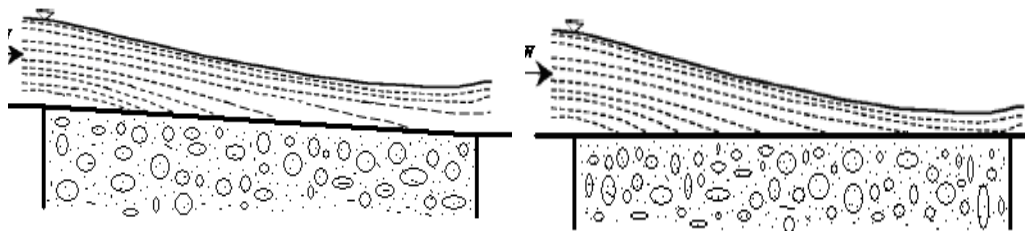
ترسیم پروفیل‌های سطح آب در شکل (۹) نشان می‌دهد برای یک دانه‌بندی و شیب سطح محیط متخلخل معین با افزایش دبی، عمق جریان بر روی محیط متخلخل افزایش می‌یابد. اما شیب افزایش دبی انحراف خیلی کمتر از روند افزایش دبی ورودی است. افزایش عمق بر روی آبگیر با افزایش دبی ورودی در پروفیل‌های ترسیم شده به خوبی این نتایج را تایید می‌کند. همچنین در این شکل مشاهده می‌شود در مقادیر کم دبی، میزان انحنا پروفیل بر روی آبگیر نسبت به دبی‌های بالاتر، بیشتر است و با افزایش دبی از آن کاسته شده شکل منظم‌تری بر روی آبگیر پیدا می‌کند. علت چنین شرایطی احتمالاً مربوط به سرعت پایین جریان در دبی‌های کم است که مقادیر بیشتری از جریان توسط محیط متخلخل منحرف می‌شود و مکش ایجاد شده ناشی از فضای خالی محیط متخلخل بر نامنظمی جریان بر روی آبگیر موثر است. از طرفی مقایسه پروفیل سطح آب در دو دانه‌بندی P_1 و P_4 ، در دبی $6/2$ لیتر بر ثانیه و شیب ۱۰ درصد محیط متخلخل در شکل ۱۰ نشان می‌دهد همواره عمق جریان بر روی آبگیر، در دانه‌بندی درشت‌تر (P_4) کمتر از عمق جریان در دانه‌بندی ریزتر (P_1) است که حاکی از عبور بیشتر جریان انحرافی از محیط متخلخل



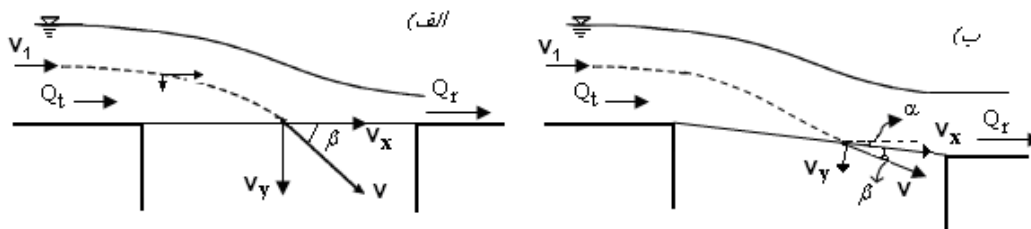
شکل ۱۰- پروفیل سطح آب در دبی ۶/۲ لیتر بر ثانیه و شیب ۱۰ درصد



شکل ۱۱ - پروفیل سطح آب در دانه بندی P1 در دبی ۶/۲ لیتر بر ثانیه



شکل ۱۲- طرح شماتیک الگوی جریان بر روی آبگیر کفی با محیط متخلخل افقی و شیبدار



شکل ۱۳- طرح شماتیک زاویه سرعت جریان ورودی به آبگیر الف) آبگیر با سطح افقی ب) آبگیر با سطح شیبدار

کمتر شود مولفه افقی سرعت نسبت به مولفه قائم آن افزایش می‌یابد و به واسطه افزایش مولفه افقی سرعت، بخش بیشتری از جریان از روی آبگیر عبور نموده و مقادیر کمتری منحرف می‌شوند.

با توجه به شکل (۱۱) و کاهش دبی انحراف در طول آبگیر می‌توان گفت به تدریج از زاویه سرعت ورودی جریان به

با توجه به تحقیقات ریگتی و لانزونی (۲۰۰۸) بر روی کفهای مشبک با میله‌های طولی در مورد الگوی جریان و نحوه ورود جریان به آبگیر کفی می‌توان گفت که افزایش جریان انحرافی به آبگیر در شیب‌های کم سطح آبگیر، به دلیل افزایش مولفه قائم سرعت جریان ورودی به با زاویه بیشتری نسبت به افق وارد آبگیر شوند. هر چه زاویه ورودی جریان به شبکه آبگیر

محیط متخلخل در دو دبی بطور نمونه در شکل (۱۴) آورده شده است. چنان که مشاهده می‌گردد با افزایش جریان ورودی به کانال سرعت در نزدیکی آبگیر افزایش می‌یابد.

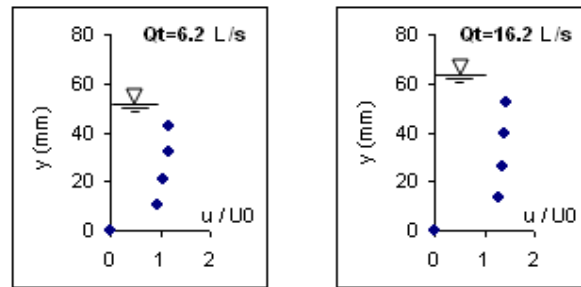
بررسی تغییرات عمقی سرعت در فواصل مختلف از آبگیر برای تمام دبی‌ها نیز افزایش سرعت را با نزدیک شدن جریان به آبگیر نشان می‌دهد. توزیع سرعت در دانه‌بندی P₄ با دبی ۱۶/۲ لیتر بر ثانیه در دو شیب صفر و ۲۰ درصد سطح آبگیر در شکل (۱۵) نشان می‌دهد که با افزایش شیب سطح آبگیر، سرعت در نزدیکی آبگیر افزایش بیشتری می‌یابد. در واقع جریان بالادست آبگیر با نزدیک شدن به آبگیر متاثر از شیب سطح آبگیر بوده و افزایش شیب، افزایش سرعت جریان را به دنبال دارد. به علت افزایش سرعت روی آبگیر ناشی از افزایش شیب سطح آبگیر جریان کمتری وارد محیط متخلخل شده، دبی انحرافی کاهش می‌یابد.

محیط متخلخل آبگیر کاسته می‌شود. شکل‌های (۱۲) و (۱۳) طرح شماتیک الگوی جریان بر روی آبگیر کفی با محیط متخلخل در این تحقیق را مطابق با تحقیقات ریگتی و لائزونی (۲۰۰۸) نشان می‌دهند.

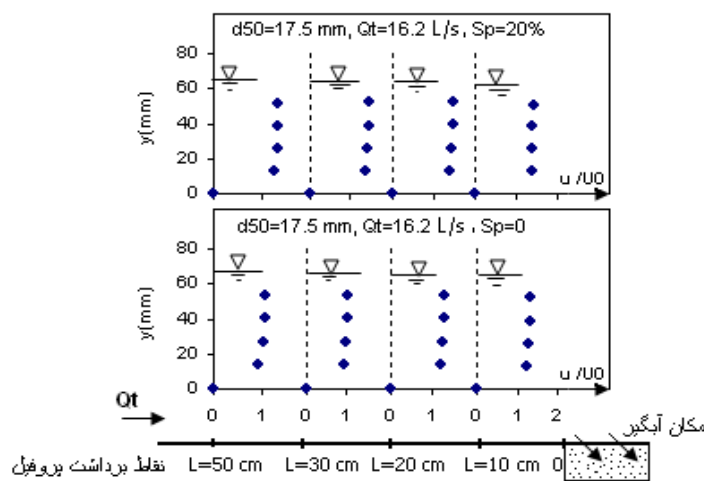
در شکل (۱۳)، α : زاویه سطح بالایی محیط متخلخل نسبت به افق و β : زاویه سرعت ورودی به آبگیر نسبت به سطح بالایی محیط متخلخل می‌باشد.

پروفیل‌های سرعت

با اندازه‌گیری سرعت در اعماق مختلف جریان و در فواصل ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی متری از آبگیر در بالادست برای حالت‌های مختلف آزمایشی و ترسیم تغییرات سرعت نسبت به عمق، امکان بررسی بیشتر رفتار هیدرولیکی جریان در محدوده آبگیر فراهم آمد. مقایسه پروفیل‌های سرعت در فاصله ۲۰ سانتی متری از بالادست آبگیر در دانه‌بندی P₃ و در شیب صفر



شکل ۱۴- مقایسه پروفیل‌های سرعت در دو دبی ۱۶/۲ و ۶/۲ لیتر بر ثانیه در بالادست آبگیر در دانه بندی P₃ و $S_p = 0$ ، سرعت اندازه‌گیری شده و U_0 ، سرعت متوسط در هر یک از نقاط برداشت پروفیل



شکل ۱۵- مقایسه پروفیل‌های سرعت در دانه بندی P₄ با دبی ۱۶/۲ لیتر بر ثانیه در دو شیب صفر و ۲۰ درصد سطح آبگیر

نتیجه‌گیری

۶. بیشترین جریان در قسمت‌های ابتدایی آبگیر منحرف شده و میزان انحراف جریان به سمت پایین دست کاهش می‌یابد. در شیب کم محیط متخلخل، بیشترین دبی در ابتدای آبگیر منحرف می‌شود و هرچه جریان به انتهای آبگیر می‌رسد از میزان دبی منحرف شده کاسته می‌گردد. با افزایش شیب محیط متخلخل، جریان بر روی آبگیر شتاب گرفته از انحراف دبی در ابتدای آبگیر کاسته می‌شود، این در حالی است که دبی انحراف در طول آبگیر نیز روند کاهشی دارد.

۷. در شیب‌های کم سطح بالایی آبگیر، سرعت جریان بر روی آبگیر کم شده، دبی عبوری از محیط متخلخل افزایش می‌یابد. این مطلب گویای آنست که مولفه قائم سرعت ورودی به محیط متخلخل نسبت به مولفه افقی بیشتر بوده و زاویه ورودی سرعت جریان به شبکه آبگیر زیاد است. هر چه زاویه ورودی سرعت جریان به شبکه آبگیر کمتر شود مولفه افقی سرعت نسبت به مولفه قائم آن افزایش می‌یابد و به واسطه افزایش مولفه افقی سرعت، بیشتر جریان از روی آبگیر عبور کرده و وارد محیط آبگیر نمی‌شود.

با مقایسه تحقیقات صورت گرفته در مورد آبگیرهای کفی با کف مشبک و با محیط متخلخل استنباط می‌شود با توجه به نوع جریان (متغیر مکانی با دبی کاهشی) بر روی آبگیرهای کفی، پروفیل‌های شکل گرفته سطح آب بر روی آنها بسیار با یکدیگر مشابه‌اند، به طوری که نتایج این تحقیق نیز نشان داد پروفیل‌های مشاهده شده بر روی آبگیر کفی با محیط متخلخل در دسته‌بندی پنج‌گانه پیشنهادی پروفیل‌های سطح آب توسط سوبرامانیا و شوکالا (۱۹۹۸) در مورد آبگیر کفی با کف مشبک قرار گرفتند. اما با توجه به شباهت‌ها در پروفیل‌های سطح آب، شیوه انحراف جریان از نظر هیدرولیکی در دو روش انحراف از طریق کف مشبک و از طریق محیط متخلخل در کف با یکدیگر متفاوت است. جریان عبوری از کف مشبک رفتار روزنه‌ای داشته در حالیکه عبور جریان از محیط متخلخل بسته به رژیم جریان در این محیط، متغیر خواهد بود.

در این مطالعه شیوه جدیدی برای آبگیری از رودخانه‌های شیب‌دار پیشنهاد شد که در آن محیط متخلخل جایگزین کف‌های مشبک در سیستم آبگیری از بستر رودخانه شده است. هرچند ضریب گذردهی آبگیر کفی با محیط متخلخل حدوداً ۱۰ تا ۳۰ درصد ضریب گذردهی آبگیر کفی با کف مشبک است اما کارایی سیستم در بلند مدت، عدم نیاز به نیروی انسانی جهت حفظ و نگهداری سیستم و همچنین حفظ شرایط طبیعی رودخانه و ایجاد شرایط زیست محیطی مناسب برای رودخانه و منطقه از مزایای این سیستم به شمار می‌رود.

بررسی نتایج به دست آمده از عوامل مؤثر بر چگونگی شکل‌گیری پروفیل‌های سطح و سرعت جریان بر روی مدل آبگیر کفی با محیط متخلخل را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

۱. شرایط جریان بر روی این نوع آبگیر کفی همواره بگونه‌ای است که بیشترین پروفیل‌های مشاهده شده از نوع B_1 هستند.
۲. با افزایش دبی ورودی، عمق جریان بر روی آبگیر افزایش می‌یابد که حاکی از هم‌سان نبودن روند افزایش دبی ورودی و دبی انحرافی از آبگیر می‌باشد.
۳. یکنواختی پروفیل جریان با افزایش دبی بیشتر می‌گردد. این امر موجب می‌گردد درصد بیشتری از جریان در دبی‌های کمتر از آبگیر عبور نمایند.
۴. با افزایش اندازه دانه‌بندی ذرات محیط متخلخل، عمق جریان بر روی آبگیر کاهش می‌یابد که نشان دهنده افزایش دبی انحراف از محیط متخلخل به علت بزرگتر شدن فضاهای خالی ذرات نسبت به دانه‌بندی ریزتر است.
۵. با افزایش شیب سطح محیط متخلخل، سرعت جریان نیز افزایش می‌یابد و از میزان تماس و عبور جریان از محیط متخلخل کاسته می‌شود. این مسئله موجب عبور جریان بیشتری از روی آبگیر و یکنواخت‌تر شدن پروفیل جریان روی آبگیر می‌شود.

منابع

- ۱- حقیقی، ع. ۱۳۸۳. مدل سازی هیدرولیک جریان در آبگیرهای کفی با استفاده از روش تفاضل محدود. یازدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور دی ماه، دانشگاه هرمزگان.
- ۲- نقوی، ب، خدانشناس، س، فففور مغربی، م، اسماعیلی، ک، و کوروش وحید، ف. ۱۳۸۸. مطالعه آزمایشگاهی میزان آبگذری سیستم آبگیری از کف با استفاده از محیط متخلخل تحت اثر جریان رسوبدار. مجله آب و خاک، جلد ۲۳، شماره ۲، صفحات ۱۱۵-۱۲۶.
- 3- De Marchi, G. 1947. Profili longitudinali della superficie libera delle correnti permanenti lineari con portata progressivamente crescente e progressivamente decrescente entro canali a sezione costante. Ric. Sci. (in Italian).
- 4- Drobir, H. 1981. Entwurf von Wasserfassungen im Hochgebirge. Osterr. Wasserwirtsch., 33(11/12), 243-253 (in German).

- 5- Kuntzmann, J., and Bouvard, M. 1954. Theoretical studies of bottom type water intake grids. *Houille Blanche*. 5: 569–574.
- 6- Mostkow, M., 1957. “Sur le calcul des grilles de prise d’eau (Theoretical study of bottom type water intake)”, *Houille Blanche*, 4: 570–580.
- 7- Orth, J., Chardonnet, E., and Meynardi, G. 1954. Study of bottom type water intake grids. *Houille Blanche*. 3: 343–351.
- 8- Righetti, M., Lanzoni, S. 2008. Experimental Study of the flow field over bottom intake racks. *Journal of Hydraulic Engineering*. 134: 1-15.
- 9- Subramanya, K. and Shukla, S.K. 1988. “Discharge diversion characteristics of trench weirs”, *Inst. Eng. India J. CI*, 69 (11): 163–168.
- 10- Andaroodi, M. 2005. Standardization of civil engineering works of small hydropower plants and development of an optimization tool. *Laboratory of Hydraulic Constructions (LCH)*, Switzerland.