

بررسی اثر میزان استغراق و فاصله لوله مکش از کف، بر الگوی جریان درون حوضچه مکش

عاطفه پرورش^{۱*} و آیدا جباری^۲

^۱ استادیار^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۰/۲۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۳/۲)

چکیده

انتقال آب توسط فرایند پمپاژ مستلزم صرف انرژی و هزینه زیادی است و استفاده از آن باید با طراحی صحیح مجموعه ایستگاه پمپاژ و جایگذاری درست پمپها و اتصالات همراه باشد. حوضچه‌های مکش برای بسیاری از ایستگاههای پمپاژ طراحی می‌شوند و اغلب با مشکل جریانهای نامنظم و تولید گردابه‌ها مواجهند بنابراین نتایج بررسی الگوی عمومی جریان درون حوضچه‌های مکش در وضعیتهای مختلف هیدرولیکی و ژئومتری، و همچنین بررسی فشارهای منفی وارد بر کف می‌تواند به بهره‌برداری مناسب از طرح پمپاژ و کاهش هزینه‌ها کمک کند. این پارامترها می‌توانند با مقدار مصرف انرژی برای حجم یا دبی مشخصی از آب نیز مرتبط باشند؛ و نتیجه تحقیق هم حاکی از افزایش مصرف انرژی، در اثر نامناسب بودن پارامترهای طراحی و افزایش گردابه‌های سطحی است. در این تحقیق با اندازه‌گیری سه‌بعدی سرعت در حوضچه مکش و ثبت مشاهدات کیفی، تغییرات الگوی جریان بر حسب تغییر دو پارامتر ارتفاع استغراق لوله مکش و فاصله لوله مکش از کف در دبیهای مختلف بررسی شده است. نتایج، تاثیر واضح این پارامترها بر تشکیل گردابه‌ها و مقدار فشار منفی وارده بر کف حوضچه و همچنین لزوم تحقیق بیشتر برای تکمیل و تعدیل روابط موجود در این زمینه را نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: پمپاژ، اندازه‌گیری سرعت، گردابه، مصرف انرژی.

مقدمه

است. Denny (1956) جزو نخستین دانشمندانی است که به بررسی جریان درون حوضچه‌های مکش و گردابه‌های با سطح آزاد و مکش هوا توسط این دسته از گردابه‌ها پرداخت. همچنین Anwar (1966) تحقیقات زیادی را در رابطه با گردابه‌های با سطح آزاد انجام داد. وی به بررسی چگونگی تشکیل گردابه‌های ضعیف در آبگیرهای پمپاژ پرداخت. Quick (1970) به بررسی اثر مکش هوا در گردابه‌های با سطح آزاد بر راندمان آبگیرها پرداخت. بر اساس تحقیقات وی یکی از اثرات منفی گردابه‌ها کاهش ضریب دبی و راندمان سازه‌های هیدرولیکی است. Prosser (1977) از جمله افرادی است که تحقیقات گسترده‌ای را در انجمن تحقیقات هیدرومکانیک در زمینه طراحی حوضچه‌های مکش انجام داد. Anwar et al (1978) در مرحله‌ای دیگر تحقیقاتی را در زمینه گردابه‌های با سطح آزاد در آبگیرهای افقی انجام دادند. عدد فرود و ارتفاع استغراق لوله مکش دو عامل مهم و تأثیرگذار در تشکیل گردابه‌ها هستند جهت محاسبه حداقل ارتفاع استغراق روابط و گراف‌های بسیاری توسط محققین ارائه شده است. یکی از مهمترین این روابط رابطه Hecker (1987) است. وی رابطه (۱) را برای محاسبه حداقل ارتفاع استغراق جهت جلوگیری از تشکیل گردابه‌ها درون حوضچه‌های مکش پمپاژ ارائه داد.

در حال حاضر بسیاری از ایستگاه‌های پمپاژ در حین بهره‌برداری با مشکلاتی مواجه هستند که باعث افزایش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری و کاهش عملکرد آنها شده است. این مسئله می‌تواند دلیل شناخت ناکافی از هیدرولیک جریان در قسمت‌های مختلف ایستگاه‌ها و یا عدم رعایت استانداردهای لازم در طراحی و بهره‌برداری باشد. حوضچه مکش که بخشی از یک ایستگاه پمپاژ است برای هدایت جریان آب به سمت لوله مکش و فراهم آوردن شرایط مناسب آگیری توسط لوله مکش مورد استفاده قرار می‌گیرد. بطور کلی در حوضچه‌های مکش حالت ایده‌آل زمانی بوجود می‌آید که در حین جریان چرخشی اصلی در حوضچه که در اثر مکش پمپ حاصل می‌شود، جریان بطرف لوله مکش بصورت کاملاً یکنواخت باشد. ولی در عمل ایجاد چنین جریانی درون حوضچه‌های مکش پمپاژ، با الگوی پیچیده سه بعدی جریان، امکان‌پذیر نیست. تشکیل نواحی گردابی درون آنها مشکلات بسیاری را برای سامانه پمپاژ ایجاد می‌کند. کاهش دبی پمپاژ و در نتیجه اتلاف انرژی، ایجاد لرزش، قطع جریان به علت ورود هوا، ایجاد نوسان در سطح جریان و تشدید عمل خلأزایی از جمله اثرات مخرب تشکیل گردابه‌ها درون حوضچه مکش

نیروگاهها و Abolghasemi (2010) روابط تجربی حداقل عمق استغراق مورد نیاز بر روی روزنه زنگوله‌ای در آبیاری را بررسی کردند، ولی همچنان اطلاعات چندانی در مورد اندازه‌گیری یا ثبت الگوی عمومی جریان در حوضچه‌ها در شرایط مختلف هیدرولیکی و وضعیت‌های مختلف قرارگیری پمپ، لوله‌ها و مرزها و همچنین شدت گردابه‌های غیرماندگار ایجاد شده در آن، وجود ندارد. بنابراین هدف از انجام این تحقیق ثبت و تحلیل الگوی عمومی جریان درون حوضچه مکش است که می‌تواند برای تشخیص مشکلات پمپاژ از حوضچه‌ها و مسائل طراحی آنها و توصیه‌هایی برای افزایش راندمان طرح‌های پمپاژ بکار رود. همچنین نتایج حاصل از مدل فیزیکی با روابط موجود مقایسه شده و اثر پارامترهای موثر در طراحی حوضچه، بر روی الگوی عمومی جریان بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

مجموعه آزمایشگاهی

برای انجام تحقیق یک مجموعه آزمایشگاهی در مقیاس واقعی، در آزمایشگاه مرکزی تحقیقات آب گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران بمنظور ثبت مقادیر سرعت و فشار درون حوضچه مکش، مقدار انرژی مصرفی و مشاهدات کیفی وضعیت‌های بوجود آمده در جریان، بخصوص گردابه‌های شکل گرفته در حین آزمایش، طراحی شده است. با توجه به محدوده دبی قابل تامین، پمپ گریز از مرکز مدل ۲۵۰-۸۰ (پمپیران) انتخاب شد. طول، عرض و ارتفاع حوضچه مکش به ترتیب ۱۸۳، ۱۲۰ cm و ۹۰ cm و حداکثر ارتفاع آب درون آن ۷۰ cm است (شکل ۱).

این ابعاد نسبت به ابعاد موجود در استانداردها کمی بزرگتر در نظر گرفته شده و فرض بر این است که در این شرایط وجود دیواره‌ها اثر تداخلی بر الگوی عمومی جریان نخواهند داشت و می‌توان اثر پارامترهای دیگر را مجزا از اثر ابعاد حوضچه بررسی کرد. طبق اصول طراحی، قطر لوله مکش نباید کمتر از قطر مجرای ورودی پمپ باشد و این مقدار براساس حداکثر سرعت مجاز تعیین می‌شود. بنابراین با توجه به حداکثر دبی پمپاژ، قطر لوله مکش ۲۰ cm در نظر گرفته شد. قطر قسمت خروجی پمپ ۸ cm است. روی لوله رانش و برای کنترل دبی، یک شیر ویفری ۴ اینچ مدرج قرار دارد. بدین ترتیب در هر مرحله از آزمایش با تنظیم شیر می‌توان با دقت مناسبی به دبی موردنظر دست یافت.

$$\frac{S}{D} = 1 + 2.3Fr \quad (1)$$

که در این رابطه D قطر دهانه لوله مکش، S حداقل ارتفاع استغراق لوله مکش و Fr عدد فرود لوله مکش است.

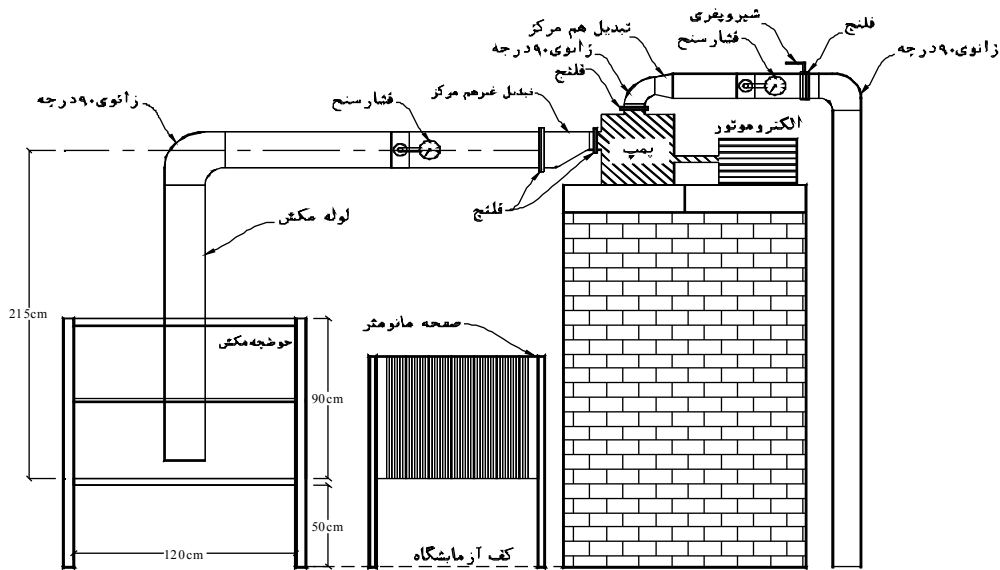
Werth and Frizzell (2009) در موسسه تحقیقات هیدرولیک آمریکا به بررسی مدل‌های فیزیکی ایستگاه‌های پمپاژ پرداختند و ضمن بررسی رابطه (۱) و مقایسه آن با نتایج مدل‌های فیزیکی، رابطه (۲) را برای محاسبه حداقل ارتفاع استغراق ارائه دادند:

$$\frac{S}{D} = 2.1 + \frac{4}{3}Fr^{2/3} \quad (2)$$

شرکت K.S.B آلمان که یکی از تولیدکنندگان بزرگ پمپ در دنیا است، معیارهایی را برای طراحی حوضچه‌های مکش ارائه داده است. در این استاندارد که بر اساس قطر دهانه لوله مکش (D) بیان شده است، فاصله مرکز لوله مکش تا دیواره مخزن (B)، حداقل باید برابر $1.5D$ باشد و فاصله دهانه لوله مکش از کف حوضچه (C)، باید در رابطه $C \geq 0.5D$ صدق کند. عرض حوضچه (W) نیز برابر $3D$ در نظر گرفته می‌شود. همچنین حداقل ارتفاع استغراق لوله مکش با توجه به قطر لوله مکش و دبی پمپاژ از منحنیهای پیشنهادی این شرکت بدست می‌آید. این معیارها احتمالاً برای جلوگیری از تاثیر مرزها بر عملکرد پمپاژ، حذف گردابه‌ها و حذف اثرات کار پمپهای واقع در یک حوضچه بر روی یکدیگر است ولی در مورد نحوه بدست آمدن آنها توضیحی ارائه نشده است.

Roozbahani (2009) به بررسی آزمایشگاهی اثر الگوی جریان در حوضچه مکش بر عملکرد پمپاژ پرداخت. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که ارتفاع استغراق لوله مکش پارامتر موثر در الگوی جریان بوده و با کاهش آن پتانسیل تشکیل گردابه‌ها افزایش می‌یابد. عدد فرود درون لوله مکش از عوامل موثر در الگوی جریان و متأثر از دبی پمپاژ است. همچنین بر اساس نتایج آزمایشگاهی، در هنگام تشکیل گردابه با سطح آزاد، دبی پمپاژ می‌تواند تا ۳٪ کاهش یابد.

باید اشاره کرد که علیرغم تحقیقات آزمایشگاهی و عددی بر روی پدیده گرداب در سازه‌های مختلف و یا آبیگرها، این مسئله کمتر در مورد حوضچه مکش و تحت تاثیر مکش پمپ مورد بررسی قرار گرفته است. بسیاری از این مطالعات بر روی نحوه آبیگری، شکل ورود آب به سازه یا حوضچه و یا آبیگرهای ریزشی و تنوره‌های قائم انجام شده‌اند بعنوان مثال Roshan (1995)، به بررسی روش‌های مقابله با گرداب در آبیگرها پرداخت، Helal beiky (1998) شرایط جریان ورودی به آبیگر

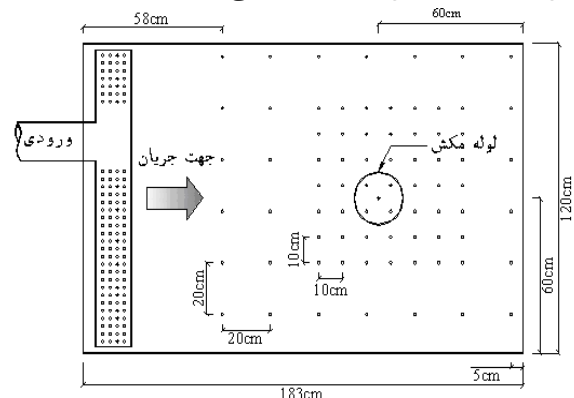


شکل ۱- نمای کلی مجموعه آزمایشگاهی

روش‌های اندازه‌گیری

روش اندازه‌گیری سرعت جریان

یکی از پارامترهای مهم در تحلیل و بررسی جریان‌های آشفته پارامتر سرعت است که با معلوم بودن آن وضعیت عمومی جریان، میزان آشفتگی و خصوصیات جریان تعیین می‌شود. در این تحقیق از سامانه سرعت‌سنج داپلر صوتی، ADV، برای اندازه‌گیری سرعت سه‌بعدی جریان به صورت تک‌نقطه‌ای در نقاط مختلف حوضچه مکش استفاده شد. ADV سرعت را بر اساس رفتار ذرات معلق موجود در آب اندازه می‌گیرد. کار این سامانه بر مبنای اصل تغییر فاز بین پالس فرستاده شده درون آب و سیگنال برگشتی توسط ذرات معلق موجود درون حجم نمونه‌گیری است. در این تحقیق سرعت جریان در ۷۱ نقطه درون حوضچه مکش در سه دی و برای ارتفاع‌های استغراق مختلف اندازه‌گیری شد (شکل ۲). وجود لوله سوراخدار ورودی که در کف حوضچه قرار گرفته و همچنین فاصله مناسب آن تا محل اندازه‌گیریها، جریان ورودی را به اندازه کافی آرام می‌کند و اثر آن بر الگوی جریان را به حداقل می‌رساند.



شکل ۲- پلان حوضچه و نمایش شبکه‌بندی نقاط مورد بررسی در حوضچه مکش

غربالگری داده‌های سرعت

غربالگری داده‌ها به دلیل اطمینان از عدم تأثیرگذاری محدودیت‌های فنی دستگاه بر روی کیفیت نتایج انجام می‌شود. وجود نقص فنی در سامانه باعث کاهش مقادیر COR (Correlation) و SNR (Signal to Noise Ratio) در داده‌برداری می‌شود. COR پارامتر همبستگی بر حسب درصد است که مستقیماً کیفیت داده‌ها را نشان می‌دهد، و داده‌هایی که دارای مقادیر بزرگتر از ۷۰٪ هستند، به عنوان داده‌های مناسب شناخته می‌شوند (Wahl, 2000). مقدار پایین آن نشان‌دهنده سطح اغتشاش (Noise) بالا در حین داده‌برداری، تلاطم زیاد جریان، بیرون آمدن پرابها از آب، تغییرات زیاد سرعت در حجم نمونه‌گیری و وجود حباب‌های هوا در داخل آب است. SNR نسبت پیام ارسال شده به اغتشاش موجود در سطح مورد بررسی است و تابعی از مواد معلق موجود در آب و اندازه رسوبات است. مقدار بحرانی این پارامتر ۵-۱۰db است که مقادیر پایین‌تر، نشان‌دهنده عدم کیفیت مناسب داده‌هاست. بر اساس مقادیر این دو پارامتر، داده‌های بدست آمده با نرم افزار WinADV غربال می‌شوند و از داده‌های مشکوک در مراحل بعدی استفاده نمی‌شود. داده‌های اولیه بدست آمده از ADV سری‌های زمانی سرعت هستند که در هر سری در مدت زمان ۳۰ ثانیه و با شدت فرکانس ۲۰ هرتز، تعداد ۶۰۰ داده ثبت شده است. در این تحقیق، بر اساس مطالعات نسبتاً مشابه، مقدار متوسط SNR برابر ۵db و مقدار COR برابر ۷۰٪ فرض شده‌اند.

روش اندازه‌گیری مقادیر فشار در کف حوضچه مکش

ایجاد مکرر فشارهای منفی بالا بر کف حوضچه، در بسیاری از موارد خستگی و در نتیجه تخریب سازه را سبب می‌شود. برای اندازه‌گیری و برآوردی از میزان فشار در نقاط

مختلف قرار دارند. در جدول (۱) مقادیر سرعت جریان، دبی، عدد فرود و حداقل ارتفاع استغراق لوله مکش با استفاده از رابطه (۱) و استاندارد طراحی K.S.B آورده شده است تا تفاوت روابط موجود در طراحی مشخص شود. ارتفاع استغراق آب درون حوضچه مکش، فاصله دهانه لوله مکش تا سطح آب درون حوضچه مکش است و با S نشان داده می‌شود.

جدول ۱- مقادیر سرعت، عدد فرود و استغراق لوله مکش طبق استانداردهای موجود

Q(l/s)	V (m/s)	Fr	S از رابطه S از رابطه S از رابطه هکر (mm) و فریزل (mm) و فریزل (mm)	S از استاندارد (mm) KSB
۱۵	۰/۴۸	۰/۳۴	۳۵۶	۱۵۰
۲۳	۰/۷۳	۰/۵۲	۴۴۰	۳۰۰
۳۲	۱/۰۲	۰/۷۳	۵۳۴	۴۰۰

برای بررسی اثر ارتفاع استغراق لوله مکش بر الگوی جریان درون حوضچه، شش ارتفاع استغراق ۳۷۵، ۴۷۵ و ۵۷۵ میلیمتر و ۲۲۵، ۳۲۵ و ۴۲۵ میلیمتر برای دبی‌های مختلف در نظر گرفته شد. در سه ارتفاع استغراق اول، فاصله لوله مکش از کف حوضچه مکش (C) برابر ۵cm و در سه ارتفاع دوم این فاصله برابر ۲۰cm بوده است (جدول ۲). ارتفاع استغراق در طول هر آزمایش با تعبیه سرریزهای مناسب، ثابت نگهداشته می‌شود.

مختلف کف حوضچه (بویژه در نزدیکی لوله مکش)، یک صفحه مانومتری تهیه و بر روی آن ۷۶ عدد لوله شیشه‌ای نصب شد. در کف حوضچه و در فواصل معین، سوراخهایی به قطر ۶ mm ایجاد. در زیر هر یک از سوراخ‌ها یک سرشیلنگی نصب شده و بوسیله شیلنگ شفاف به لوله‌های شیشه‌ای روی صفحه مانومتر وصل شدند. بدین ترتیب مقدار کل فشار وارده به کف حوضچه در نقاط مشخص شده قابل اندازه‌گیری است. در طول انجام آزمایش از نوسانات فشار در مانومترها فیلمبرداری شد و سپس حداکثر و حداقل فشار برای هر مانومتر، استخراج و ثبت شد. موقعیت نصب مانومترها در شکل (۲) نشان داده شده است.

سامانه تأمین و اندازه‌گیری انرژی مصرفی پمپ

برای تامین انرژی مورد نیاز پمپ از برق سه‌فاز و جهت اندازه‌گیری انرژی مصرفی از یک کنتور آنالوگ سه‌فاز استفاده شد که دقت آن ۰/۰۱ کیلووات‌ساعت است. در سامانه تأمین و اندازه‌گیری انرژی، برق ورودی به تابلو ابتدا وارد کنتور می‌شود، پس از آن یک کلید گردان ۲۵ آمپر برای قطع و وصل جریان وجود دارد و سپس یک فیوز ۲۵ آمپر قرار دارد که از صدمه دیدن پمپ در اثر نوسانات جریان برق جلوگیری می‌کند.

روش انجام تحقیق

تنظیم دبی‌های پمپاژ از حوضچه برای مقادیر ۱۵ l/s، ۲۳ و ۳۲ انجام شد که در محدوده منحنی پمپ برای راندمان‌های

جدول ۲- آزمایش‌های انجام شده در مقادیر مختلف فاصله از کف لوله مکش، دبی و استغراق لوله مکش

شماره آزمایش	S (mm)	دبی (lit/s)	C (cm)	شماره آزمایش	S (mm)	دبی (lit/s)	C (cm)
۱*	۲۲۵	۱۵	۲۰	۱*	۳۷۵	۱۵	۵
۲	۳۲۵			۲	۴۷۵		
۳	۴۲۵			۳	۵۷۵		
۴	۲۲۵	۲۳		۴	۳۷۵	۲۳	
۵	۳۲۵			۵	۴۷۵		
۶	۴۲۵			۶	۵۷۵		
۷	۲۲۵	۳۲		۷	۳۷۵	۳۲	
۸	۳۲۵			۸	۴۷۵		
۹	۴۲۵			۹	۵۷۵		

* آزمایشی که الگوی جریان در ارتفاعهای مختلف حوضچه مکش، در شکل‌های ۳، ۵، ۷ و ۹ مربوط به آن هستند (وضعیت A).

** آزمایشی که الگوی جریان در ارتفاعهای مختلف حوضچه مکش، در شکل‌های ۴، ۶، ۸ و ۱۰ مربوط به آن هستند (وضعیت B).

اساس غربالگری داده‌ها، سرعت‌های بالا که در اثر ایجاد گردابه‌های غیرماندگار در نقطه ثبت سرعت و تغییرات ناگهانی مقدار سرعت ایجاد می‌شوند، از داده‌ها حذف می‌شوند و یا ثبت سرعت در آن نقطه، مجدداً و پس از محو گردابه‌ها انجام می‌گیرد. بدلیل نوسانات موجود، ثبت مقادیر فشار در نقاط کف

لازم به تاکید است که ADV امکان ثبت گردابه‌های غیرماندگار شکل گرفته درون حوضچه را ندارد و تنها برای ثبت متوسط سرعت‌های سه بعدی جریان درون حوضچه و سپس ترسیم الگوی عمومی جریان (بردارهای سرعت و خطوط جریان) بوسیله نرم‌افزاری مانند Tecplot بکار می‌رود؛ بعبارت دیگر بر

اندکی نوسان در حول و حوش ۴۲۵ میلی‌متر باقی بماند. مشاهدات کیفی ثبت شده در وضعیت A حاکی از شکل‌گیری گردابه‌های سطحی با شدتهای مختلف (نوع ۱ تا ۶) است. حضور گردابه‌ها در محدوده ضلع شمال‌غربی و جنوب غربی حوضچه مکش بوده و جهت چرخش آنها نیز به صورت پادساعتگرد است. گردابه نوع ۶ در این وضعیت تشکیل می‌شود که حداکثر زمان پایایی آن ۷ ثانیه ثبت شده و سپس محو می‌گردد و تکرار آن هیچ الگوی خاصی ندارد. این گردابه قوی از سطح آب تا لوله مکش ادامه داشته و هسته هوای آن نسبتاً قطور است (از قطر ۷ سانتیمتر در سطح تا حدود ۳ سانتیمتر در نزدیک لوله مکش). توصیف این گردابه‌ها که طبیعت پیچیده‌ای دارند عمدتاً از طریق مشاهده طولانی مدت وضعیت ظاهری جریان میسر است و در مطالعاتی که در دنیا (در موارد مختلف) صورت گرفته است، دسته‌بندی گردابه‌ها بر اساس همین روش مشاهداتی است. بررسی مانومترها نشان می‌دهد که مانومتر مرکزی (در زیر لوله مکش) و چند مانومتر اطراف آن دارای نوسان زیادی بوده و سطح آب در مانومتر مرکزی در پایین‌ترین حالت، تقریباً ۱۵۰mm پایین‌تر از کف حوضچه بوده است. بعبارت دیگر، در مقایسه با فشار اولیه ۴۲۵ میلی‌متر بر کف حوضچه در ابتدای پمپاژ، این مقدار بیشترین فشار منفی وارد بر کف حوضچه را نشان می‌دهد و فشار در این نقطه به اندازه ۵۷۵ میلی‌متر کاهش یافته است. همچنین دیگر مانومترهای نزدیک به لوله مکش نیز دچار کاهش فشار زیادی هستند.

برای وضعیت B (جدول ۲)، الگوی عمومی جریان با شکلهای ۴، ۶، ۸ و ۱۰ که به ترتیب در ارتفاعهای ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ سانتیمتری از کف ثبت و ترسیم شده‌اند، نشان داده شده است. در این وضعیت ارتفاع آب در حوضچه در ابتدای پمپاژ ۴۲۵ میلی‌متر و توان مصرفی اندازه‌گیری شده ۷/۸۱ Kw است. در این وضعیت نیز گردابه‌های سطحی نوع ۱ تا ۶ تشکیل شده و گردابه‌های قوی حتی گاهی باعث ایجاد لرزش در لوله مکش می‌شوند. بررسی ارتفاع آب درون مانومترها نشان می‌دهد که سطح آب در مانومتر مرکزی، به اندازه ۱۲۰mm پایین‌تر از کف حوضچه بوده است و کاهش فشار در این نقطه ۵۴۵ میلی‌متر بوده است.

در شکلهای (۳) و (۴)، علیرغم مساوی بودن دبی پمپاژ و ارتفاع آب در حوضچه، الگوی جریان در ۵ سانتیمتری از کف بسیار متفاوت تصویر شده‌اند و اثر پارامترهای S و C را نشان می‌دهند. شکل (۴) بوضوح شدت بیشتر یک جریان گردابی غالب و همچنین بزرگتر بودن مقدار بردارهای سرعت را نشان می‌دهد.

حوضچه، از طریق فیلمبرداری از صفحه مانومترها انجام می‌شود. در این تحقیق بر حداقل فشاری که در هر نقطه در کف حوضچه ایجاد می‌شود تاکید شده است که در برخی نقاط در کف، فشار منفی یا مکش ایجاد می‌کند. در مدت زمان انجام هر آزمایش، مقدار مصرف انرژی نیز اندازه‌گیری می‌شود. در حین انجام هر مرحله از آزمایش گزارشی با عنوان مشاهدات کیفی تهیه می‌شود که وضعیت تشکیل گردابه‌ها، شدت آنها و تداوم آنها را به صورت کیفی شرح می‌دهد.

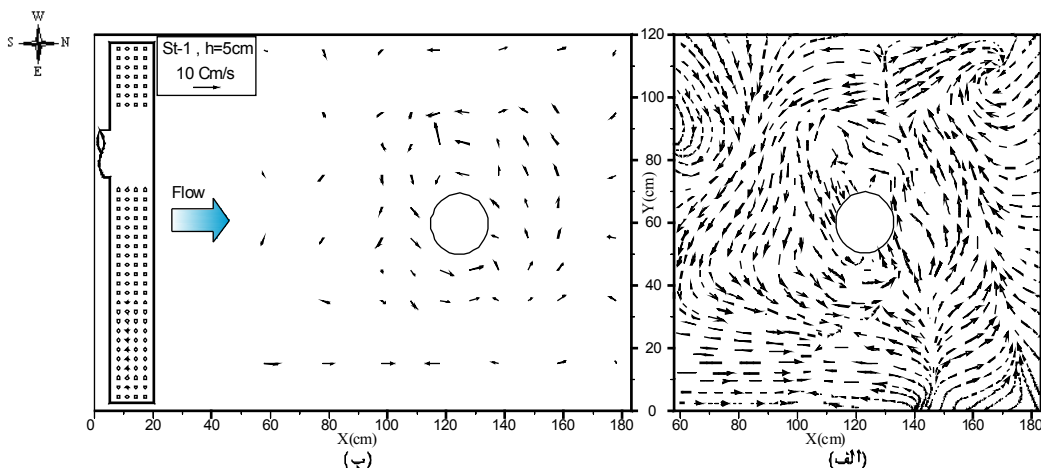
طبق تعریف، گردابه نوع ۱، جریان چرخشی در سطح مایع بدون فرورفتگی در سطح آن است؛ گردابه نوع ۲، جریان چرخشی همراه با فرورفتگی در سطح مایع؛ گردابه نوع ۳، جریان چرخشی همراه با هسته کدر در حال نوسان به طرف لوله مکش؛ گردابه نوع ۴، گردابه‌ای با قدرت مکش ذرات شناور سبک؛ گردابه نوع ۵، گردابه با قدرت مکش حباب‌های هوا به داخل دهانه لوله مکش و گردابه نوع ۶، گردابه با یک هسته هوای کاملاً توسعه یافته به داخل لوله مکش است (Karassik et al, 2001)؛ بطوریکه شدت جریان گردابی از نوع ۱ تا نوع ۶ افزایش می‌یابد.

نتایج و بحث

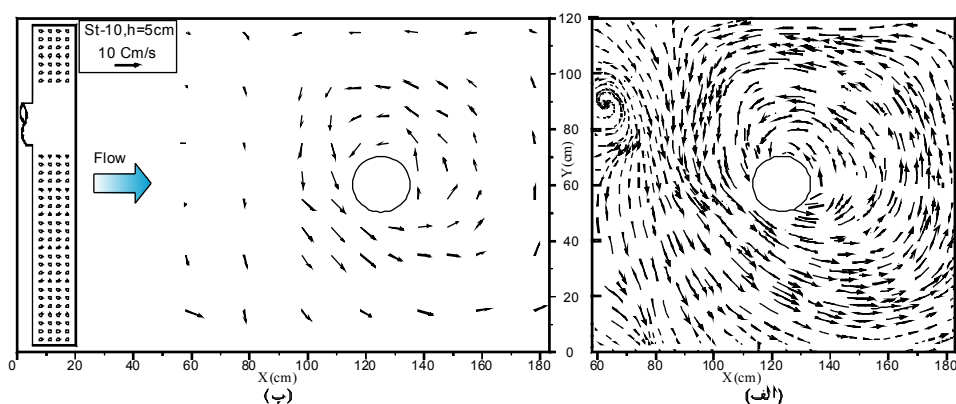
بر اساس جدول (۲)، در مجموع هجده وضعیت مختلف درون حوضچه ایجاد شده و داده‌برداری به شکلی که توضیح داده شد، انجام گرفت. تحلیل داده‌ها شامل ترسیم الگوی عمومی جریان و تکمیل و مقایسه آن با مشاهدات ثبت شده در حین انجام آزمایش و وضعیت افت فشار در کف است. در همه وضعیتهای آزمایش، اختلاف در الگوی عمومی جریان، مقادیر فشار در کف حوضچه و مقادیر انرژی مصرف شده دیده می‌شود؛ که به دلیل محدودیت فضا برای ارائه همه نتایج، نمونه آنها در دو وضعیت A و B (جدول ۲)، در چهار عمق مختلف نسبت به کف حوضچه آمده است. در این دو وضعیت اثر پارامترهای طراحی بر الگوی جریان درون حوضچه و شدت تشکیل گردابه‌ها برای یک دبی ثابت پمپاژ، ملموس است.

- الگوی عمومی جریان

برای وضعیت A (جدول ۲)، الگوی عمومی جریان با شکلهای ۳، ۵، ۷ و ۹ که به ترتیب در ارتفاعهای ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ سانتیمتری از کف ثبت و ترسیم شده‌اند، نشان داده شده است. در این وضعیت چنانچه در جدول ۲ هم آمده است ارتفاع آب در حوضچه در ابتدای پمپاژ ۴۲۵ میلی‌متر (جمع پارامترهای S و C) و توان مصرفی اندازه‌گیری شده ۸/۲ Kw است. سعی بر این بوده‌است که در طول آزمایش، ارتفاع آب درون حوضچه با



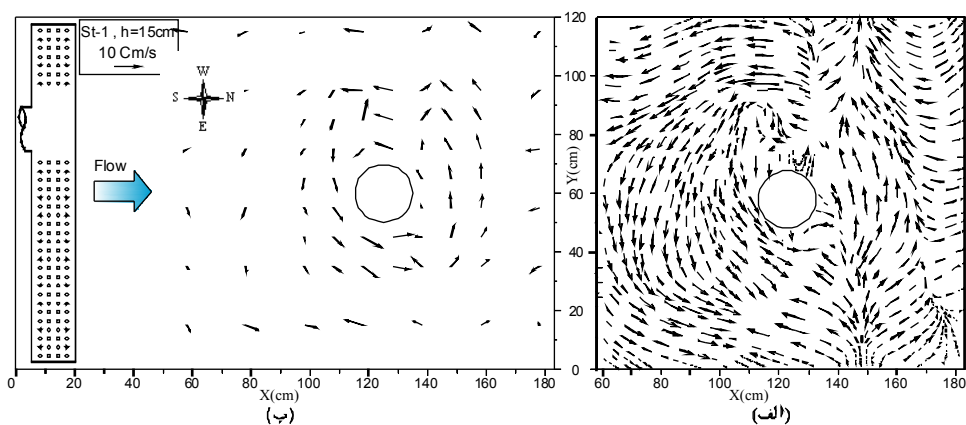
شکل ۳- وضعیت A، الگوی جریان در ارتفاع ۵ سانتیمتری از کف: الف-خطوط جریان ب-بردارهای سرعت



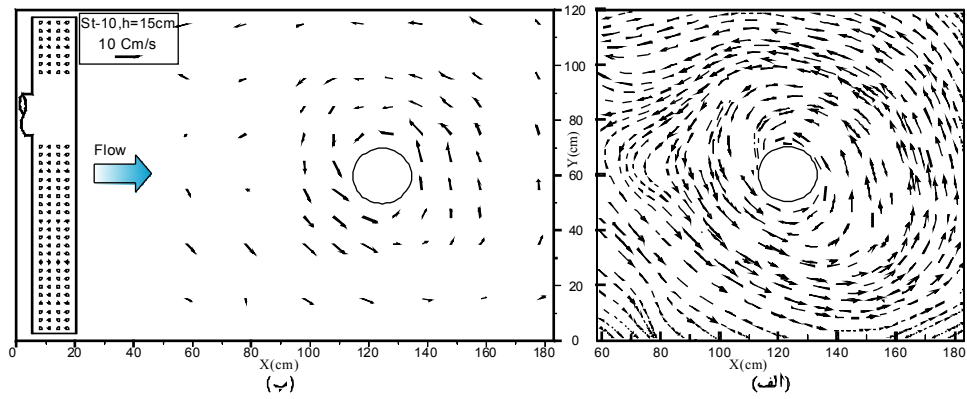
شکل ۴- وضعیت B، الگوی جریان در ارتفاع ۱۰ سانتیمتری از کف: الف-خطوط جریان ب-بردارهای سرعت

نشان می‌دهد که چنانچه در حوضچه، بدلیل طراحی اولیه نادرست یا کمبود آب در برخی شرایط بهره‌برداری، عمق آب و در نتیجه ارتفاع استغراق کاهش یابد، می‌تواند اثرات نامطلوبی بر فرایند پمپاژ داشته باشد و ریسک تشکیل گردابه‌ها، قدرت بیشتر جریان گردابی، و در نتیجه کاهش دبی پمپاژ را سبب شود.

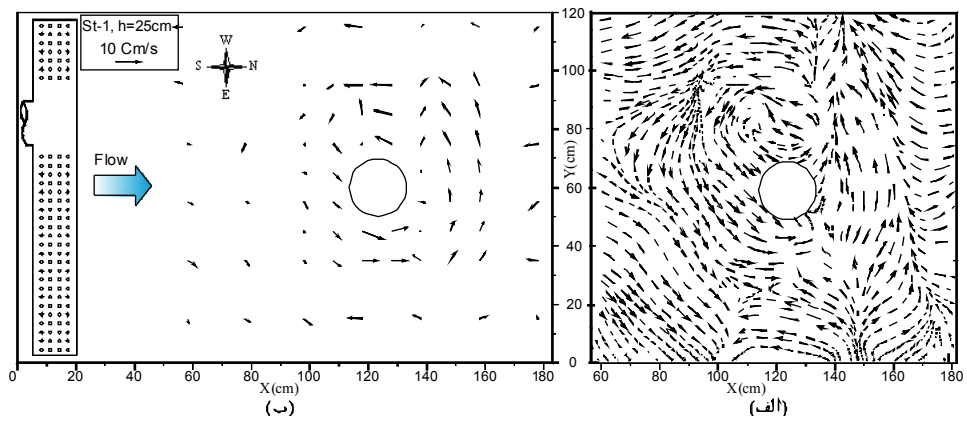
نامنظم بودن خطوط جریان در شکل‌های (۵)، (۷) و (۹) به ترتیب نسبت به شکل‌های (۶)، (۸) و (۹) نیز بدلیل کمتر بودن فاصله لوله مکش از کف است ولی همچنان شدت جریان گردابی غالب در شکل‌های (۶) و (۸) بیشتر است که این مسئله، چنانکه پیشتر هم اشاره شد، در مشاهدات کیفی هم ثبت شده است و می‌تواند به دلیل عمق استغراق کمتر باشد. این نتیجه



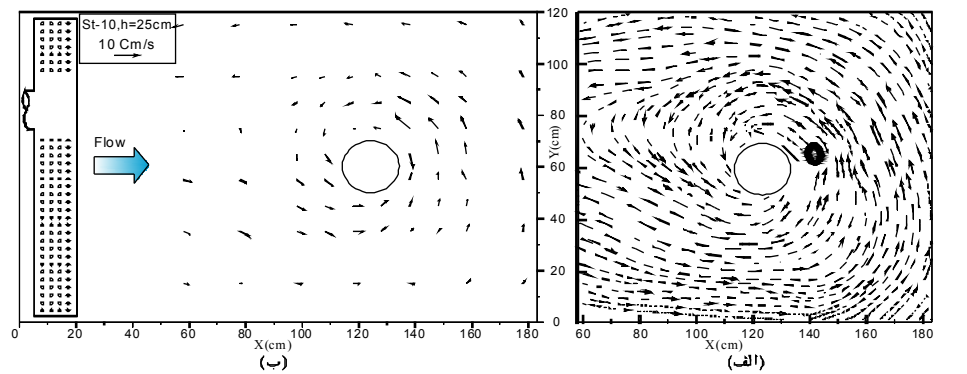
شکل ۵- وضعیت A، الگوی جریان در ارتفاع ۱۵ سانتیمتری از کف: الف-خطوط جریان ب-بردارهای سرعت



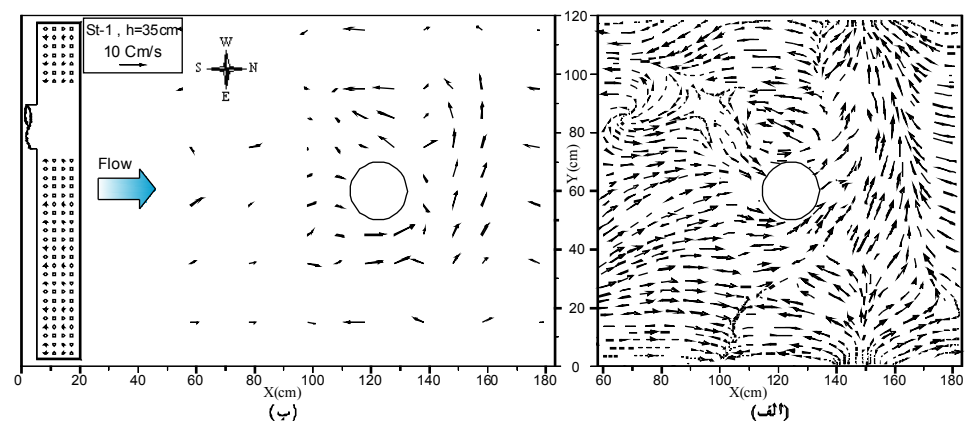
شکل ۶- وضعیت B، الگوی جریان در ارتفاع ۱۵ سانتیمتری از کف: الف-خطوط جریان ب-بردارهای سرعت



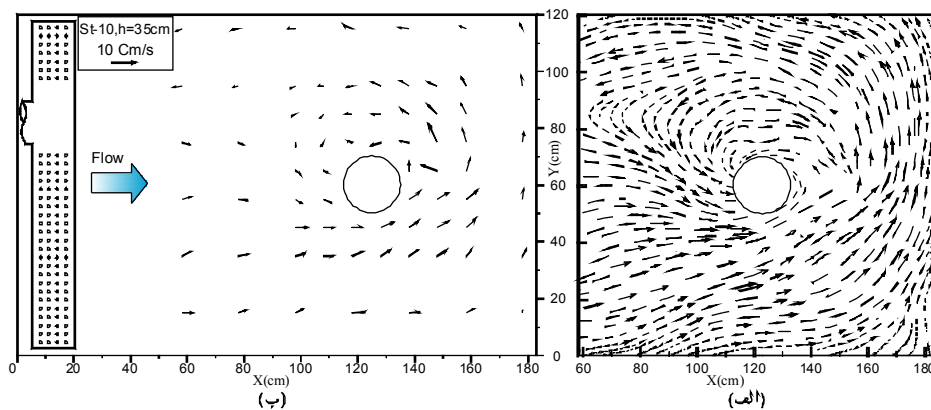
شکل ۷- وضعیت A، الگوی جریان در ارتفاع ۲۵ سانتیمتری از کف: الف-خطوط جریان ب-بردارهای سرعت



شکل ۸- وضعیت B، الگوی جریان در ارتفاع ۲۵ سانتیمتری از کف: الف-خطوط جریان ب-بردارهای سرعت



شکل ۹- وضعیت A، الگوی جریان در ارتفاع ۳۵ سانتیمتری از کف: الف-خطوط جریان ب-بردارهای سرعت

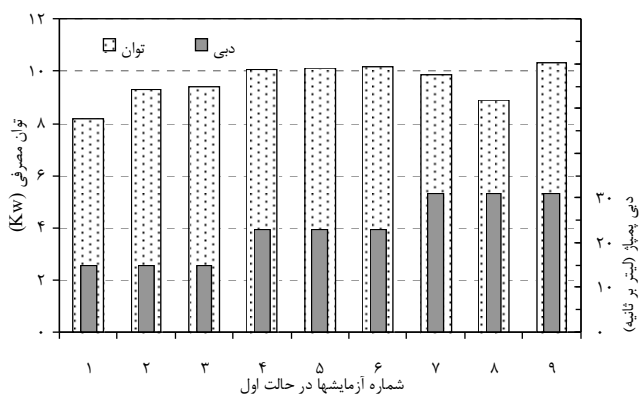


شکل ۱۰- وضعیت B، الگوی جریان در ارتفاع ۳۵ سانتیمتری از کف: الف-خطوط جریان ب-بردارهای سرعت

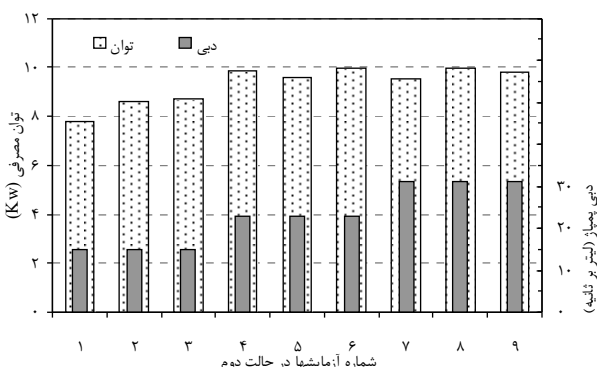
می‌شود. البته باید توجه داشت که به دلیل کمتر بودن فاصله لوله مکش از کف در وضعیت A، کاهش فشار زیر لوله مکش در آن بیش از وضعیت B بوده است و این ارتباط بین کاهش فشار و پارامتر C در همه وضعیتهای جدول (۲) مشاهده می‌شود.

اثر پارامترهای طراحی بر مصرف انرژی

مقادیر مصرف انرژی برای هر مقدار C و به ازای دی‌ها و مقادیر S مختلف که در جدول (۲) آمده‌اند، ترسیم شده است (شکل ۱۳: حالت اول و C=۵ و شکل ۱۴: حالت دوم و C=۲۰). در این شکل‌ها بررسی اثر پارامترهای ارتفاع استغراق و فاصله لوله مکش از کف در دبیهای یکسان، بر مصرف انرژی امکانپذیر است. با کاهش فاصله لوله مکش از کف مقدار انرژی مصرفی نسبت به شرایط مشابه افزایش یافته است.



شکل ۱۳- تغییرات مصرف انرژی در مراحل مختلف آزمایشهای حالت اول



شکل ۱۴- تغییرات مصرف انرژی در مراحل مختلف آزمایشهای حالت دوم

در شکل‌های (۷) و (۸) الگوی جریان که در ارتفاع ۲۵ سانتیمتری از کف و بالاتر از رقوم دهانه مکش برداشت شده، نشان داده شده است.

در شکل‌های (۹) و (۱۰) مقادیر بردارهای سرعت تقریباً یکسان هستند ولی همچنان در الگوی عمومی جریان متفاوتند. در واقع با فاصله گرفتن از کف حوضچه، مقدار سرعت در نقاط متناظر وضعیتهای A و B به هم نزدیکتر می‌شوند ولی الگوی جریان همچنان متفاوت است.

الگوی فشار در کف

فشار هیدرواستاتیک در هر دو وضعیت A و B برابر mm-H₂O ۴۲۵ است. عبارت دیگر در زمان شروع پمپاژ که آب درون حوضچه ساکن است، همه مانومترها این عدد را نشان می‌دهند. عمل پمپاژ در شرایط مختلف هندسی و هیدرولیکی باعث اختلاف فشار هر نقطه از فشار اولیه آن خواهد شد. در تعداد اندکی از نواحی، بویژه در اطراف دیواره‌ها ممکن است این فشار مقدار اندکی افزایش داشته باشد ولی در اغلب نقاط کاهش می‌یابد و حتی در نقاط مرکزی کف حوضچه، فشار به زیر صفر می‌رسد و چنانچه گفته شد در وضعیت A و B، فشار در مانومتر مرکزی که نزدیکترین مانومتر به زیر لوله مکش است، به ترتیب ۱۵۰ و ۱۲۰ mm پایین‌تر از رقوم کف حوضچه ثبت شده است. غیر از فشار مربوط به مانومتر مرکزی، در وضعیت A فشارهای ثبت شده در نقاط مختلف بین ۴۰۰ تا ۴۶۴ میلیمتر و در وضعیت B بین ۳۲۸ تا ۴۵۰ میلیمتر هستند. این موضوع نشان می‌دهد که به طور کلی تشکیل گردابه‌های قویتر در وضعیت B، با کاهش بیشتر فشار در نقاط مختلف (نسبت به فشار هر نقطه در آغاز پمپاژ) مربوط است و همچنین اختلاف فشار ایجاد شده بین نقاط مختلف کف حوضچه در آن بیشتر است؛ که شاید بتوان آن را به اختلاف فشار در نقاطی از حوضچه که ارتفاع آنها یکسان است هم تعمیم داد و نتیجه‌گیری کرد که این مسئله باعث بوجود آمدن گردابه‌های قوی و بیشتری نسبت به حالت A

نتیجه‌گیری کلی

با کاهش فاصله لوله مکش از کف حوضچه در حد ۱۵ سانتی متر (یعنی از ۲۰ به ۵ سانتیمتر)، مقدار فشار منفی در زیر لوله مکش (مانومتر مرکزی)، تا ۲۵٪ بیشتر می‌شود. بطور کلی در حالت A ($C=5\text{cm}$)، در مقایسه با حالت B ($C=20\text{cm}$) مقدار مصرف انرژی برای یک دبی ثابت افزایش یافته است و این در حالیست که $C_A < C_B$ و $S_A > S_B$.
شایان ذکر است که برای نتیجه‌گیری جامع و پیشنهاد روابطی که همه وضعیت‌های جریان در دامنه وسیعی از پارامترها را در نظر بگیرند، انجام آزمایش‌های تکمیلی با تغییر در دیگر پارامترها مانند مشخصات لوله مکش، ابعاد و شکل حوضچه مکش، اثرات مختلف جریان ورودی و همچنین ارتفاع نصب پمپ ضروری است.

سپاسگزاری

این تحقیق در راستای اهداف و مأموریت‌های قطب علمی ارزیابی و بهسازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی و با حمایت‌های قطب یاد شده و دانشگاه تهران انجام شده است. بدینوسیله از حمایت‌های یادشده تشکر و قدردانی می‌شود.

فهرست علائم

- B : طول حوضچه مکش
C : فاصله دهانه لوله مکش از کف
D : قطر لوله مکش
Fr : عدد بدون بعد فرود
h : ارتفاع آب درون حوضچه مکش
p : فشار در کف حوضچه مکش
P : توان مصرفی پمپ
Q : دبی پمپاژ
S : ارتفاع استغراق لوله مکش
W : عرض حوضچه مکش

نتایج این تحقیق بر تأثیر واضح پارامترهای ارتفاع استغراق لوله مکش و فاصله لوله مکش از کف، بر الگوی عمومی جریان دلالت دارد. نتایج حاصل از تغییر مقادیر ارتفاع استغراق لوله مکش نشان می‌دهد که نمودار ارائه شده توسط شرکت KSB برای تعیین حداقل ارتفاع استغراق لوله مکش و همچنین رابطه ورث و فریزل معیار مناسبی برای طراحی بهینه حوضچه‌های مکش نیستند. اعداد ارائه شده توسط نمودار K.S.B. بسیار کوچک بوده و در این شرایط حضور گردابه‌ها برای دبی‌های مختلف در وضعیت‌های متفاوت جدول (۲) مشاهده شده است. همچنین اعمال فرمول ورث و فریزل در دبی‌های مختلف، اعداد بزرگتری را نسبت به آنچه نتایج آزمایش‌ها برای تأمین حداقل استغراق لازم و در نتیجه جلوگیری از وقوع گردابه‌های شدید نشان می‌دهند، پیشنهاد می‌دهد که باعث افزایش هزینه‌ها می‌شود. ولی زمانی که مقدار استغراق لوله مکش در آزمایش‌ها به مقدار ارائه شده از فرمول هکر نزدیک می‌شوند، الگوی جریان درون حوضچه به عدم تشکیل گردابه‌های سطحی و عمیق نزدیکتر می‌شود. البته با اینکه رابطه هکر بیش از روابط دیگر قابل تایید است، با انجام آزمایش‌های بیشتر و احیاناً تغییر ضرایب و وارد کردن پارامتر فاصله دهانه لوله مکش از کف، این رابطه نیز قابل تکمیل و تعدیل است. در مجموع با افزایش دبی، مقدار S پیشنهادی از روابط مختلف به هم نزدیک می‌شوند. نکته دیگر اینکه با توجه به نتایج آزمایش در همه وضعیت‌ها، برای عدم تشکیل گردابه در مقادیر C کمتر، به S بیشتری احتیاج است، در صورتیکه در همه روابط مذکور این فاکتور نادیده گرفته شده است و اگر C افزایش یابد میتوان مقدار S را به مقدار قابل توجه کاهش داد (هر چند که کاهش ارتفاع استغراق لوله مکش به طور مستقل، توانش تشکیل گردابه‌های سطحی و مستغرق را درون حوضه مکش افزایش می‌دهد).

REFERENCES

- Abolghasemi, M. (2010). Appraisal of empirical equations of minimum submergence height on bell orifice in physical model, simulation of vortex phenomena. 9th Iranian Hydraulic Conference, Tarbiat Modares University (in Farsi).
- Anwar, H. O. (1966). Formation of a weak vortex, *Journal of Hydraulic Research, Delft, The Netherlands*, 4(1), 1-16.
- Anwar, H. O., Weller, J. A. and Amphlett, M. B. (1978). Similarity of free-vortex at horizontal intake. *J. Hydraulic Res.* 16(2), 95-105.
- Denny D. F. (1956). "An Experimental Study of Air-Entraining vortices in pump sumps" Proc., Inst. Mech. Eng., London, 170(2), 106-116.
- Hecker, G. E. (1987). Conclusions to Swirling Flow Problems at Intakes. IAHR Hydraulic Structures Design Manual, The Netherlands, 139-155.
- Helal Beiky, A. (1998). *Appraisal of the influence of the entrance flow conditions in formation of vortex flows*. MSc thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (in Farsi).
- Prosser, M. J. (1977). The hydraulic design of pump sumps and intakes, British Hydromechanics Research Association/Construction Industry Research and Information Association, Cranfield, U.K.
- Quick M. C. (1970), "Efficiency of Air-Entraining Vortex at Water Intakes". *J. Hydr. Div. ASCE*, 96(7), 1403-1415.

- Roozbahani, A. (2009) *Influence of flow pattern in sump on the efficiency of pumping stations*. MSc thesis, university of Tehran, Iran (in Farsi).
- Roshan, R. (1995). Appraisal of vortex phenomena by means of physical model researches and methods of depreciation in water intakes of power plants. Workshop of modeling in irrigation and drainage national committee of irrigation and drainage of Iran (in Farsi).
- Wahl, T. L. (2000). Analyzing ADV data using WinADV. Proc. Joint Conference on Water Res. Eng. and Water Res. Planning and Management, Minneapolis, Minnesota.
- Werth, D., Frizzell C. (2009). Minimum pump submergence to prevent surface vortex formation. *Journal of Hydraulic Research*, 47(1), 142-144.

