نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال یازدهم. شماره چهل و دوم. زمستان۱۳۹۹

بررسی هیدرولیکی تأثیر زاویه‌ی پره در بازدهی توربین گورلف در جریان آب با سرعت کم

احسان مقدسی[۱]، نازنین شاه‌کرمی[۲*]

تاریخ ارسال:۱۳۹۸/۰۹/۲۸
تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۰۷/۲۸

مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی دانشگاه اراک

چکیده

یک راه‌حل اساسی به منظور صرفه‌جویی در استفاده از سوخت‌های فسیلی و جلوگیری از ایجاد آلودگی‌های هوا، استفاده از توربین‌های آبی است. در این تحقیق نمونه‌ای از یک توربین هیدرودینامیکی که بتواند در جریان‌های با دبی و سرعت کم، تولید انرژی الکتریکی نماید پیشنهاد شده‌است. بعد از تحقیقات گسترده در زمینه‌ی تئوری مسئله، شکل سه‌بعدی پره‌های توربین در نرم‌افزار SOLIDWORKS طراحی و به‌عنوان ورودی وارد مدل FLOW-3D گردید. برای هریک از توربین‌ها با زاویه پره متفاوت و برای اعماق جریان متفاوت، تعامل بین سیال و پره‌ها برای تعیین توربینی که بیشترین سرعت زاویه‌ای و میزان گشتاور را پس از برخورد جریان ایجاد می‌کند، مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. فرضیه اساسی این تحقیق این است که توربینی که از طرفی بیشترین سرعت زاویه‌ای و میزان گشتاور را دارا بوده و از طرف دیگر بدون نوسان و جهش و عدم وجود تغییر جهت گشتاور می‌باشد، قطعاً از توان بیشتری برخوردار است و بهینه حالت زاویه‌ی پره و شرایط جریان را دارد. تمامی توربین‌ها در جریان با دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و با عمق ۵ سانتی‌متر، بیشترین گشتاور و سرعت زاویه‌ای را داشتند و لذا از توان بهتری برخوردار بودند. بر این اساس استنباط گردید که مناسب‌ترین محل جهت راندمان بیشتر و دستیابی به توان بیشتر توربین، قرارگیری آن در نزدیکی سطح جریان است. همچنین توربین با زاویه‌ی پره‌ی ۷۰ درجه‌ای در بین توربین‌هایی که پره‌ی مایل داشتند، با توجه به سرعت و میزان گشتاور پره‌ها، بهترین عملکرد و بازدهی را از خود نشان داد.

واژه‌های کلیدی: توربین آبی،توربین گورلف،سرعت کم، کانال روباز، FLOW-3D

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران- رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران Email: ehsan.1987@usa.com

[۲*] استادیار گروه عمران دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه اراک، تلفن تماس: ۰۸۶۳۲۶۲۵۳۰۶، n-shahkarami@araku.ac.ir (نویسنده مسئول).

مقدمه

محدودیت استفاده از منابع انرژی فسیلی، افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی به‌واسطه‌ی مصرف بی‌رویه از این منابع، افزایش مصرف انرژی ناشی از ازدیاد جمعیت و راندمان پایین نیروگاه‌های حرارتی، همگی مباحثی هستند که ضرورت یافتن راهکارهای جایگزین مناسب در جهت حل معضلات را نشان می‌دهد. در این راستا، یافتن روش‌های اقتصادی‌تر و معرفی الگوهای جدید و دسترسی به انواع منابع انرژی تجدیدپذیر در تأمین نیازهای حال و آینده مورد توجه است. امروزه در اختیار داشتن مجاری و کانال‌های آب، نه‌تنها امکان احداث نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک را فراهم کرده بلکه باعث شده به دلایل فناپذیر نبودن انرژی برق‌آبی، پایین‌بودن قیمت تمام‌شده، امکان بهره‌برداری از حداقل پتانسیل آبی، زمان ساخت کوتاه، مشکلات اجتماعی و زیست‌محیطی کمتر، امکان افزایش مولدهای تولید پراکنده مقیاس کوچک، افزایش ضریب ایمنی و توجیه اقتصادی بالا، این انرژی جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی جهت تولید برق شود. ازجمله این مولدها، توربینی آبی به نام گورلف (Gorlov) است که شخصی به همین نام[۱] آن را در سال ۱۹۹۷ اختراع و به ثبت رسانده است.

توربین‌های جریان آزاد انواع مختلفی داشته و عموماً نیازی به احداث سد ندارند (Gorlov, 1995). انرژی استفاده‌شده در این توربین‌ها، برخلاف توربین‌های سد که از نوع انرژی پتانسیل آب ذخیره‌شده در پشت سد است، از نوع انرژی جنبشی آب می‌باشد. ایده استفاده از انرژی جنبشی آب، مفهوم جدیدی نیست و توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌است. در ابتدا این مطالعات بر روی مقیاس‌های کوچک بوده و از سال ۱۹۹۰ به بعد، توربین‌های جریان آب در مقیاس بزرگ به کار گرفته‌شده‌اند.

عملکرد بعضی از توربین‌های جریان آزاد مانند توربین‌های داریوس و گورلف به جهت برخورد جریان آب با پره‌های توربین بستگی ندارند. این موضوع مزیت فوق‌العاده‌ای برای این نوع توربین‌ها بوده و در صورت تغییر جهت آب توربین عملکرد یکسانی از خود نشان می‌دهد. در توربین‌های از نوع جریان عمودی، جهت جریان آب به‌گونه‌ای است که بردار سرعت آب عمود بر شفت توربین باشد. نمونه اولیه این توربین با نام داریوس است که از تیغه‌های ایرفویلی صاف تشکیل شده‌است. از معایب توربین داریوس می‌توان به ناپایداری، واماندگی دینامیکی، عدم تقارن راست و چپ و دشواری محاسبات اشاره‌نمود. در سال ۱۹۹۷، یک نوع جدید از توربین داریوس با ساختاری متفاوت با نام توربین گورلف یا توربین توراب مطرح شد. در توربین گورلف از پره‌های مارپیچی به‌جای پره‌های صاف داریوس استفاده شده‌است(Gorban et al. 2001) . Chesna و همکارانش در سال ۲۰۰۲، با هدف استفاده از یک دستگاه انرژی تجدید پذیر، بر روی توربین گورلف تحقیق کردند. توربین مورد بررسی آنها، از آب در حال حرکت بهره‌برده و انرژی جنبشی آب را تحت هد کم دریافت و با سرعت‌بالا می‌چرخید؛ اما در این سرعت‌های بالا توربین با مشکل لرزش و درنتیجه خستگی مواجه می‌شد. آن‌ها حذف قاب از اطراف توربین را برای به حداقل رساندن نیروهای درگ پیشنهاد کردند. Choi در سال ۲۰۰۸ و همچنین با کمک همکارانش در سال ۲۰۱۰ شبیه‌سازی کلی توربین جریان متقاطع به‌صورت دوبعدی را با شرایط آب و آب- هوا انجام دادند. آنها در این مطالعات، تأثیر شکل نازل، تعداد و زاویه‌های پره-های چرخ را بر روی عملکرد توربین، مورد بررسی قرار دادند. مهم‌ترین نتیجه تحقیق نشان دادن نقش مهم لایه هوا بر بازده بود. Subhra Mukherji و همکاران در سال ۲۰۱۱ به مقایسه مدل عددی و آزمایشگاهی

[۱] Alexande M. Gorlov

یک توربین هیدرودینامیکی با محور افقی پرداخته و تأثیر زاویه حمله و تعداد پره‌ها روی توان تولیدی را مورد بررسی قرار دادند. آنها درنهایت یک مقدار بهینه برای زاویه برخورد سیال با پره‌ها و تعداد پره‌ها ارائه نمودند. Shahsavarifard و همکاران در سال ۲۰۱۵ به مطالعه تجربی اثر پوسته روی عملکرد توربین انرژی جنبشی آب محور افقی پرداخته است. مقایسه سه حالت توربین بدون پوسته و با پوسته و با دیفیوزر انجام‌شده و به این نتیجه رسیده‌اند که توربین همراه دیفیوزر ضریب توان بیشتری نسبت به حالت‌های دیگر دارد. همچنین نشان دادند تأثیر پوسته زمانی که سرعت جریان کمتر (کمتر از ۰/۹ m/s) باشد بیشتر است.

Chettiar و همکاران در سال ۲۰۱۵، یک توربین گورلف برای استخراج انرژی دریایی طراحی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که توربین گورلف یک راه سازگار با محیط‌زیست برای تولید برق، بدون انتشار گازهای گلخانه‌ای است. آن‌ها از CFD[1] برای تجزیه و تحلیل این توربین استفاده کردند و بررسی آنها حاکی از آن بود که نتایج محاسبات عددی با نتایج بدست آمده از مشاهدات تجربی بدست آمده، مشابهت دارد. Kolekar و Banerjee در سال ۲۰۱۵ به تحلیل تجربی و عددی عوامل موثر در عملکرد توربین‌های آبی دریایی در کانال‌ها پرداخته‌اند. بررسی آنها نشان می‌دهد که اگر توربین‌های آبی دریایی در عمق کم استفاده شوند، با لحاظ آنکه در بسیاری از موارد عمق کانال بین ۱/۵ تا ۳ برابر قطر توربین است، نسبت انسداد بزرگ‌تر از ۰/۱ شده و عملکرد توربین تحت تأثیر شرایط مرزی و تغییرات سطح آزاد آب قرار می‌گیرد. در این مطالعه به تعریف دو مفهوم مهم انسداد صلب و انسداد گردابه‌ای در توربین‌های انرژی جنبشی آب پرداخته‌شده است. Noruzi و همکاران در سال ۲۰۱۵ با استفاده از تئوری المان پره و دینامیک سیالات محاسباتی به طراحی و تحلیل توربین انرژی جنبشی آب برای کانال قشم که ظرفیت مناسبی برای جذب انرژی از طریق جذر و مد دارد پرداخته و با در نظر گرفتن دو نمونه توربین با زاویه‌های پیچش مختلف، عوامل مختلفی شامل طول پره، اندازه قطر محور، فاصله نصب توربین نسبت به سطح آزاد آب با استفاده از حل پایا و گذرا مورد مطالعه قرار داده‌اند و نشان دادند که نزدیک‌شدن توربین به سطح آزاد نقش مهمی در عملکرد توربین و افزایش گشتاور تولید پره‌ها دارا است. Kumar و Saini در سال ۲۰۱۷، پارامترهای عملکرد توربین هیدرودینامیکی را بررسی کردند. توربین‌هایی که انرژی جنبشی جریان آب را به قدرت مکانیکی تبدیل می‌کنند به‌عنوان توربین‌های هیدرودینامیکی نامیده می‌شوند. او نظریه انرژی هیدرودینامیکی را برای سیستم تبدیل انرژی از جریان‌های آب مشابه سیستم قدرت باد بررسی کرد و عنوان کرد که اثر انسداد در کانال آب بر عملکرد توربین هیدرودینامیک هنوز به تحقیقات قابل‌توجهی نیاز دارد. یکی از توربین‌های برجسته از نوع خود شروع شونده، توربین هیدرودینامیکی Savonius است که توانایی شروع شدن در یک سرعت بسیار کم سیال در رودخانه را دارد. گنجی و همکاران در سال ۱۳۹۵، به ارزیابی عددی عملکرد نوعی میکرو توربین جریان محوری از نوع پروانه‌ای با قابلیت به‌کارگیری در بستر رودخانه (با هد خیلی پائین) به‌منظور تولید برق برای مصارف محلی و استفاده در میکرونیروگاه پرداختند. آن‌ها پس از طراحی توربین به روش تحلیلی، از روش عددی برای ارزیابی هندسه تولیدشده استفاده کردند. ابتدا پره‌های روتور و استاتور طراحی‌شده وارد محیط TURBOGRIDشد تا شبکه سازمان‌یافته بر روی آن‌ها تولید گردد. ایشان برای انجام شبیه‌سازی از نرم‌افزار CFX استفاده کردند و جریان ورودی آب

[1] Computational fluid dynamics

به‌صورت تراکم ناپذیر فرض نمودند و همچنین از روش $K-\omega SST$ برای مدل‌سازی جریان درهم استفاده کردند. درنهایت پس از طراحی توربین، ارزیابی عملکرد آن به‌صورت عددی برای ارتفاع‌های مختلف صورت پذیرفت و منحنی استاندارد آن استخراج و ارائه شد. بر همین اساس بالاترین راندمان محاسبه‌شده برای توربین ٪۹۱ بدست آمد. نیکوهمت و همکاران در سال ۱۳۹۶، به بررسی اثر زاویه گام و اندازه وتر روی ضریب توان توربین انرژی جنبشی آب پرداختند. آنها برای بررسی اثر زاویه گام پره و طول وتر روی ضریب عملکرد، سه اندازه مختلف وتر را در نظر گرفته و زاویه گام‌های مختلف (۰ تا ۱۶ درجه) در نسبت نوک سرعت متفاوت (۲/۱۷ تا ۶/۲۲) را مورد بررسی قرار دادند. با توجه به نتایج با افزایش اندازه وتر، به دلیل افزایش سطح پره، گشتاور تولیدی افزایش‌یافته و توان تولیدی و ضریب توان افزایش می‌یابد. نتایج تحقیق ایشان نشان می‌دهد که زاویه گام و اندازه وتر روی تعویق واماندگی مؤثر می‌باشد و با انتخاب زاویه گام و اندازه وتر مناسب می‌توان جدایش پشت توربین را کنترل نمود.

مرور منابع حاکی از آن است که اطلاعات کمی راجع به استحصال انرژی از جریان‌های آزاد در دسترس است، ضمن آنکه اکثر کارهای انجام‌شده نیز روی استحصال انرژی از جریان‌های اقیانوسی بزرگ و حرکات جزر و مدی متمرکز هستند. لذا با لحاظ لزوم بررسی بیشتر در این زمینه، تحقیق حاضر درصدد بررسی نمونه‌ای از یک توربین هیدرودینامیکی که بتواند در جریان‌های با دبی و سرعت کم، تولید انرژی الکتریکی نماید، برآمده است.

مواد و روش‌ها

توربین گورلف

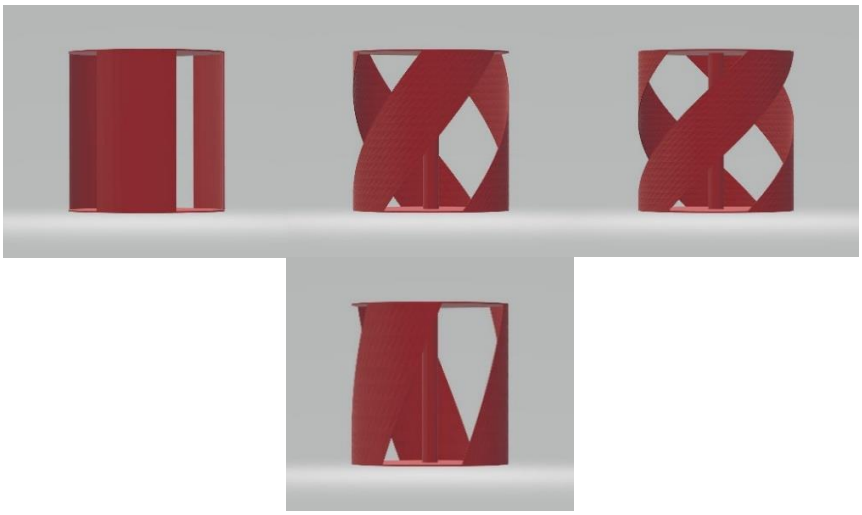
توربین یک سیستم مکانیکی است که انرژی پتانسیل آب را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. مقدار انرژی تولیدشده به پارامترهایی از قبیل هد، دبی، شکل و ابعاد توربین بستگی دارد. توربین گورلف، توربینی است که تیغه‌های آن حول محور مرکزی توربین و محاط بر یک استوانه‌ی فرضی چرخیده و بهم پیچیده‌اند. همچنین از آنجائیکه محور گشتاور آن به صورت قائم است، یک توربین عمود بر جهت جریان است. بدین ترتیب زاویه و نحوه‌ی قرارگیری پره‌ها نسبت به جهت جریان سیال باید طوری طراحی گردد که مسئله‌ی پیچش ضربانی را به حداقل رساند؛ زیرا هرچه ارتعاشات کاهش یابد، قابلیت اطمینان افزایش و مسائل تعمیر و نگهداری کاهش می‌یابد. طراحی مارپیچ گونه‌ی سیستم سبب می‌شود بدون توجه به جهت قرارگیری توربین در جریان، توربین در چرخش هیچ مشکلی نداشته باشد. با توجه به این خصوصیت، توربین را می‌توان در یک جریان در هر جهت (به‌صورت افقی، قائم و یا حتی مایل) و با هِد جریان کم، نصب و مونتاژ نمود.

مشخصات شبیه‌سازی عددی

نرم‌افزار FLOW-3D، یک مدل مناسب با بازه‌ی کاربرد وسیع برای تحلیل مسائل پیچیده‌ی سیالات از جمله جریان‌های سه‌بعدی غیرماندگار که دارای سطح آزاد و هندسه پیچیده هستند، می‌باشد. در این نرم‌افزار از روش حجم محدود در شبکه‌بندی منظم مستطیلی استفاده می‌شود. به لحاظ استفاده از روش حجم محدود در یک شبکه منظم، شکل معادلات گسسته استفاده‌شده، نظیر معادلات گسسته شده در روش تفاضل محدود می‌باشد. بر این اساس، FLOW-3D از روش‌های دقت مرتبه اول و دوم در حل معادلات بهره می‌برد. همچنین این نرم‌افزار از پنج مدل آشفتگی نظیر مدل‌های $K-\varepsilon$ و RNG استفاده می‌کند. در نرم‌افزار FLOW-3D از دو روش عددی روش حجم سیال (VOF) که برای نشان دادن رفتار سیال در سطح آزاد و روش کسر مساحت-حجم مانع (Favor) برای شبیه‌سازی سطوح و احجام صلب استفاده می‌شود. معادلات حاکم بر جریان سیال شامل معادله‌های پیوستگی و اندازه‌ی حرکت می‌باشند.

نتایج و بحث

با توجه به متغیرهای در نظر گرفته‌شده در این پژوهش که اولی سرعت جریان و دومی میزان زاویه‌ی پره‌ها نسبت به افق است، اقدام به طراحی ۴ نوع پره در زوایای ۴۵، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درجه در نرم‌افزار SOLIDWORKS شده است (شکل (۱)).

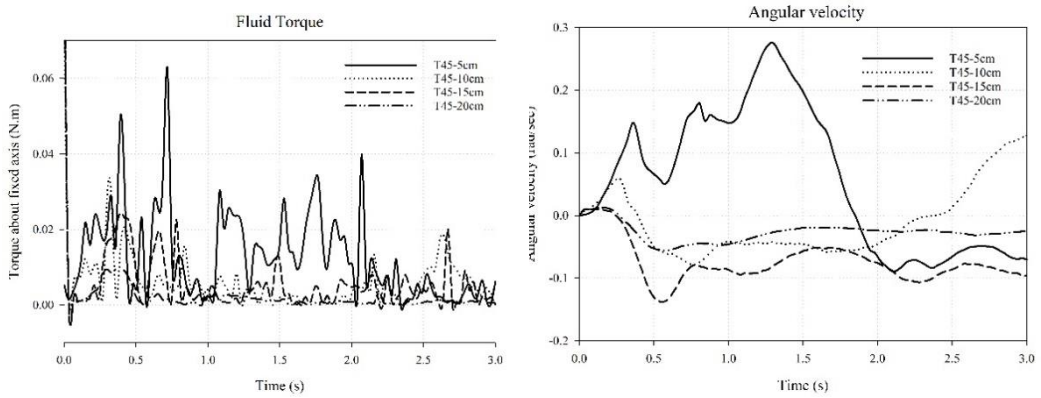


شکل (۱): توربین طراحی‌شده به ترتیب از چپ به راست با زاویه‌ی پره ۴۵، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درجه نسبت به افق

شکل‌های سه‌بعدی پره‌های طراحی‌شده در نرم‌افزار SOLIDWORKS به عنوان ورودی وارد مدل FLOW-3D شدند. توربین‌ها با زاویه پره متفاوت (۴۵، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درجه) در جریانی با دبی ثابت ۲۰ لیتر بر ثانیه و با سرعت متغیر قرار داده شدند. سرعت‌های متفاوت جریان با توجه به ثابت بودن دبی، با تغییر اعماق متوسط جریان (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر) به سیستم اعمال شده و تعامل بین سیال و پره‌های توربین بررسی گردید.

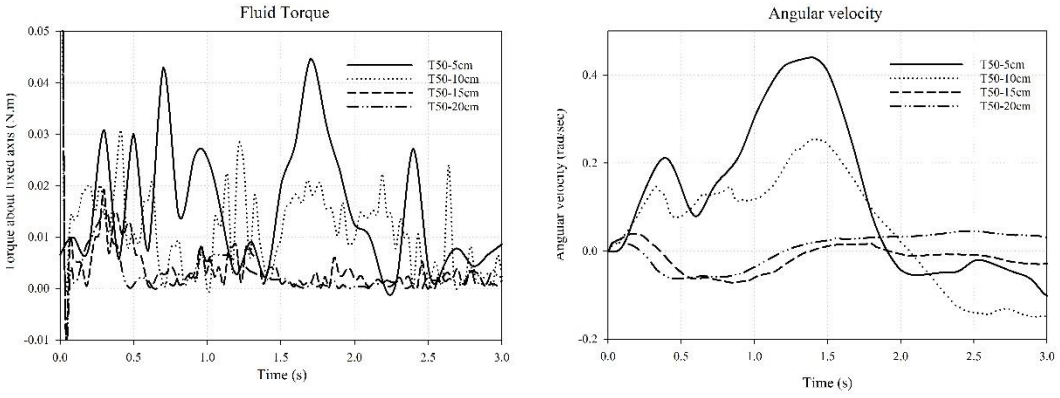
به جهت مدل‌سازی کامل توربین در نرم افزار Flow-3D با توجه به ابعاد توربین که ۲۰ سانتی متر قطر و ۲۰ سانتی‌متر ارتفاع داشت، محدوده شبیه-سازی، ۵۰ سانتی‌متر قبل از محور مرکزی توربین و ۵۰ سانتی‌متر بعد از آن در راستای طولی کانالی به عرض ۵۰ سانتی‌متر فرض شد. به منظور شبیه‌سازی کامل هندسه توربین، سه بلوک مش‌بندی طوری تعریف شدند که در محدوده توربین از سلولهای مکعبی به ابعاد ۰/۷ میلی‌متر و در خارج از آن از سلول‌های به ابعاد ۱ میلی‌متر استفاده گردید.

می‌توان انتظار داشت توربینی که بیشترین سرعت دورانی و میزان گشتاور را بدون نوسان و جهش و عدم وجود تغییر جهت گشتاور (عدم وجود نقطه عطف در نمودار سرعت زاویه‌ای برحسب رادیان بر ثانیه داشته باشد، از توان بهتری برخوردار خواهد بود. به‌منظور تحلیل بهتر و شفاف نمودن تأثیرات عمق یا سرعت جریان بر توان توربین، با ثابت نگه‌داشتن زاویه پره تأثیر آن‌ها بر روی سرعت زاویه‌ای و میزان گشتاور توربین بررسی گردید (شکل‌های (۲) تا (۵)). سرعت زاویه‌ای منفی نشان داده شده در این شکل‌ها، بیان کننده‌ی تغییر جهت گشتاور توربین است.



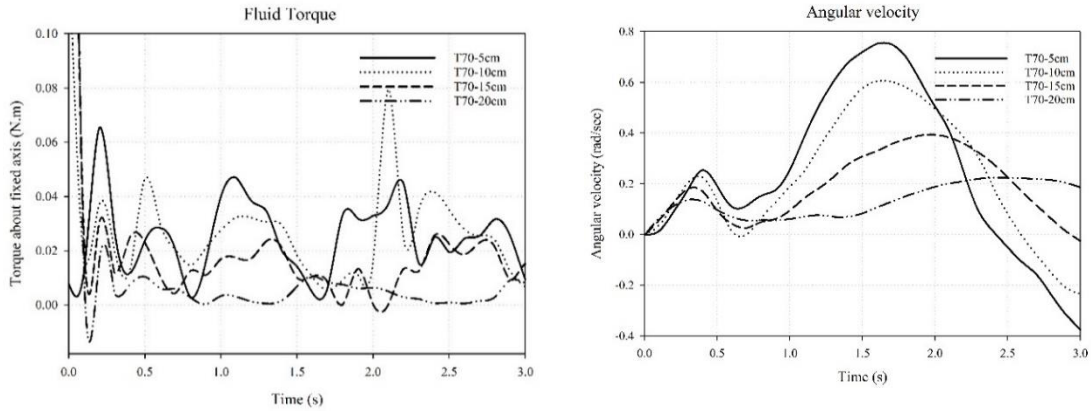
(ب) (الف)

شکل (۲): (الف) تغییرات سرعت زاویه‌ای توربین با زاویه پره ۴۵ درجه نسبت به زمان در اعماق متفاوت، (ب) تغییرات گشتاور توربین با زاویه پره ۴۵ درجه نسبت به زمان در اعماق متفاوت



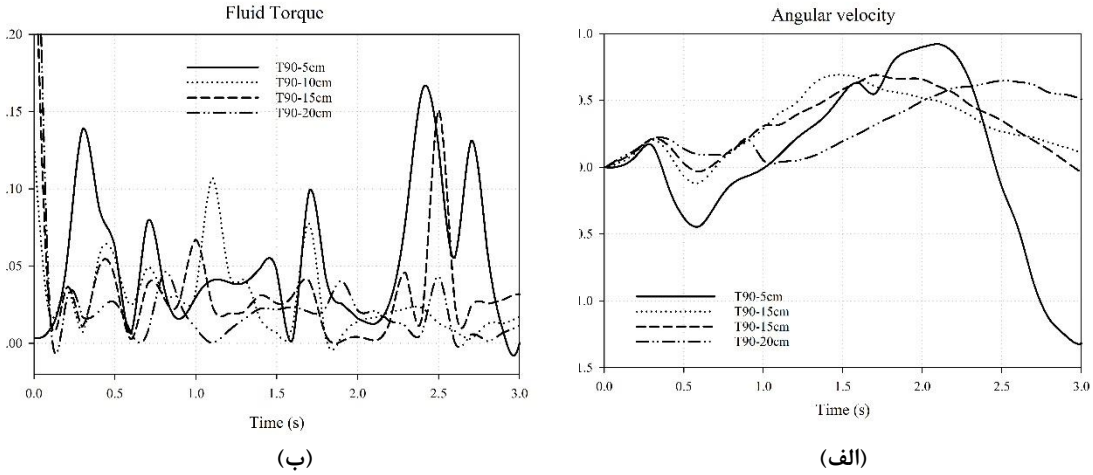
(ب) (الف)

شکل (۳): (الف) تغییرات سرعت زاویه‌ای توربین با زاویه پره ۵۰ درجه نسبت به زمان در اعماق متفاوت، (ب) تغییرات گشتاور توربین با زاویه پره ۵۰ درجه نسبت به زمان در اعماق متفاوت



(ب) (الف)

شکل (۴): (الف) تغییرات سرعت زاویه‌ای توربین با زاویه پره ۷۰ درجه نسبت به زمان در اعماق متفاوت، (ب) تغییرات گشتاور توربین با زاویه پره ۷۰ درجه نسبت به زمان در اعماق متفاوت

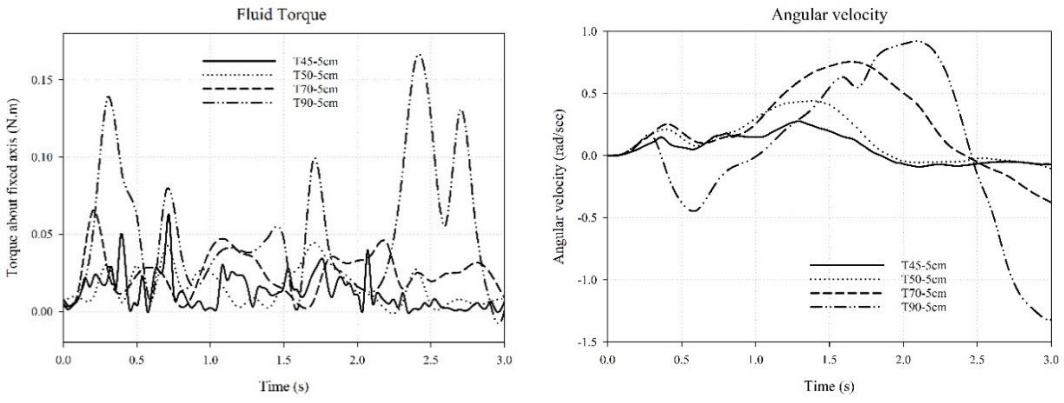


(ب) (الف)

شکل (۵): (الف) تغییرات سرعت زاویه‌ای توربین با زاویه پره ۹۰ درجه نسبت به زمان در اعماق متفاوت، (ب) تغییرات گشتاور توربین با زاویه پره ۹۰ درجه نسبت به زمان در اعماق متفاوت

با بررسی شکل‌های (۲) تا (۵) می‌توان مشاهده نمود که تمامی توربین‌ها در جریان با دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و با عمق ۵ سانتی‌متر بیشترین پیچش و سرعت زاویه‌ای را داشته‌اند، لذا می‌توان نتیجه گرفت هرچه سرعت جریان بیشتر باشد بازدهی و توان توربین بیشتر است. البته باید یادآور شد که این نتیجه‌گیری در شرایطی است که توربین در جریان غیر مستغرق قرار دارد. با لحاظ این اصل اساسی هیدرولیکی که سرعت جریان در نزدیکی سطح حداکثر می‌باشد، می‌توان نتیجه‌گیری کرد درصورتی‌که توربین در یک جریان عمیق نیز مستغرق گردد ، مناسب‌ترین محل جهت بهره‌وری بیشتر از آن قرارگیری توربین در نزدیکی سطح جریان است.

در ادامه با ثابت در نظر گرفتن عمق بهینه که طبق بررسی‌های فوق برابر ۵ سانتی‌متر بود، سعی در یافتن بهینه حالت زاویه‌ی پره‌ی توربین شد (شکل (۶)) و نتایج حاصل با تحقیق Hinchey و همکارانش (۲۰۱۴) مقایسه گردید.



(ب) (الف)

شکل (۶): (الف) تغییرات سرعت زاویه‌ای توربین در عمق بهینه ۵ سانتیمتری با زاویه پره‌های متفاوت، (ب) تغییرات گشتاور توربین در عمق بهینه ۵ سانتیمتری با زاویه پره‌های متفاوت

با دقت در شکل (۶) می‌توان نتیجه گرفت که توربینی که زاویه‌ی پره‌ی ۷۰ درجه‌ای دارد در بین توربین‌هایی که پره‌ی مایل دارند بهترین عملکرد را با توجه به پیچش و سرعت زاویه‌ای ایجادشده در توربین دارا می‌باشد. باید در نظر داشت اگرچه نمودارها حاکی از بیشتر بودن سرعت زاویه‌ای و پیچش توربین با زاویه پره ۹۰ درجه دارد اما با در نظر گرفتن افت شدید و منفی‌شدن سرعت زاویه‌ای (تغییر جهت گشتاور توربین) در پره ۹۰ درجه، توربین با زاویه پره ۷۰ درجه عملکرد بهتری را دارد.

این نتیجه‌گیری در مقایسه با گزارش تحقیق انجام‌شده تحت نظارت دکتر Hinchey در دانشگاه نیوفاندلند (Hinchey et al. 2014) که بهترین زاویه‌ی پره را از رابطه (۱) به دست آوردند دارای تفاوت‌هایی است.

$$\varphi = \arctan\left[\frac{Bh}{\pi D}\right] \qquad (۱)$$

φ زاویه‌ی انحراف پره از افق، B تعداد پره‌ها، h ارتفاع توربین و D قطر توربین می‌باشد.

با توجه به ابعاد و هندسه کلی توربین پژوهش حاضر که دارای سه پره، با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و قطر ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد، طبق رابطه‌ی فوق زاویه‌ی بهینه انحراف پره‌ها از افق برابر ۴۳/۶۹ درجه به دست می‌آید که کاملاً با نتایج این پژوهش متفاوت می‌باشد. یکی از مهم‌ترین عوامل اختلاف، تفاوت شکل و آئرودینامیک در نظر گرفتن پره‌ها در این دو تحقیق می‌باشد.

نتیجه‌گیری

همان‌طور که اشاره گردید، در این تحقیق به تحلیل و بررسی توربین گورلف پرداخته شد. با ثابت نگه‌داشتن دبی جریان و تغییر عمق در چهار حالت، تأثیر سرعت جریان عبوری بر سرعت دوران و میزان گشتاور توربین در یک بازه زمانی خاص بررسی گردید؛ چراکه افزایش میزان سرعت دوران و میزان گشتاور توربین در یک بازه زمانی ثابت به‌منزله افزایش توان و یا بازدهی توربین است.

با توجه به متغیرهای در نظر گرفته‌شده در این پژوهش که اولی سرعت جریان و دومی میزان زاویه‌ی پره‌ها نسبت به افق است اقدام به طراحی ۴ نوع پره در زوایای ۴۵، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درجه شد، سپس توربین‌ها در جریانی با دبی ثابت ۲۰ لیتر بر ثانیه و با سرعت متغیر قرار داده شدند. سرعت‌های متفاوت جریان با توجه به ثابت بودن دبی، با تغییر اعماق متوسط جریان از ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر به سیستم اعمال گردید.

لازم به توضیح است توربینی که از طرفی بیشترین سرعت زاویه‌ای و میزان گشتاور را به صورت توام در یک بازه زمانی مشخص دارا است و از طرف دیگر بدون نوسان و جهش و عدم وجود تغییر جهت گشتاور (عدم وجود نقطه عطف در نمودار سرعت دورانی برحسب رادیان بر ثانیه) می‌باشد، مسلماً از توان بیشتری برخوردار بوده و بهینه حالت زاویه‌ی پره و شرایط جریان را دارد. بر این اساس نتایج حاصل از این تحقیق را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

تمامی توربین‌ها در جریان با دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و با عمق ۵ سانتی‌متر بیشترین گشتاور و سرعت زاویه‌ای را داشته‌اند، لذا می‌توان نتیجه گرفت هرچه سرعت جریان بیشتر باشد بازدهی و توان توربین بیشتر است؛ البته باید یادآور شد که این نتیجه‌گیری در شرایطی است که توربین در جریان غیر مستغرق قرار دارد. با لحاظ این اصل اساسی هیدرولیکی که سرعت جریان در نزدیکی سطح حداکثر می‌باشد، می‌توان نتیجه‌گیری کرد درصورتی‌که توربین در یک جریان عمیق مستغرق گردد نیز، مناسب‌ترین محل جهت بهره‌وری بیشتر از آن قرارگیری توربین در نزدیکی سطح جریان است.

عمق بهینه قرارگیری توربین به‌منظور رسیدن به بیشترین بازده و توان، برابر ۵ سانتی‌متر از سطح آزاد است.

در یافتن بهینه حالت زاویه‌ی پره‌ی توربین مشخص گردید که توربینی که زاویه‌ی پره‌ی ۷۰ درجه‌ای دارد در بین توربین‌هایی که پره‌ی مایل دارند، بهترین

عملکرد را با توجه به گشتاور و سرعت زاویه‌ای ایجادشده در توربین دارا می‌باشد. باید در نظر داشت اگرچه نمودارها حاکی از بیشتر بودن سرعت زاویه‌ای و گشتاور توربین با زاویه پره ۹۰ درجه دارد، اما با در نظر گرفتن افت شدید و منفی شدن سرعت زاویه‌ای (تغییر جهت گشتاور توربین) در پره ۹۰ درجه، توربین با زاویه پره ۷۰ درجه عملکرد بهتری را دارد.

تقدیر و تشکر

لازم به ذکر است که این طرح با حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه اراک بر اساس قرارداد شماره ۹۶/۵۸۵۴ انجام شده است که نگارندگان بدین وسیله مراتب تقدیر و تشکر خود را اعلام می‌نمایند.

منابع

گنجی، ب.، یاسی، ی. و نوربخش، ا. ۱۳۹۵. بررسی عددی رفتار توربین آبی جریان محوری با هد بسیار پایین. چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری‌های نوین در علوم مهندسی، تربت‌حیدریه، دانشگاه تربت‌حیدریه.

نیکوهمت، م. م.، خزایی، ا.، محسنی، آ. و مهاجری، ح. ۱۳۹۶. بررسی اثر زاویه گام و طول وتر پره بر ضریب توان توربین انرژی جنبشی آب. مجله مهندسی مکانیک مدرس، سال ۱۷، شماره ۶، ص ۵۸-۵۱.

Chesna, A., Dibella, T., Hutchins, T., Kropf, S., Lesica, J., Mahoney, J., and Gorlov, A. M. 2002. Hydroelectric Power Generator for Small Vessels and Remote Stations Located Near Water. Technical Design Report. Department of Mechanical, Industrial and Manufacturing Engineering College of Engineering, Northeastern University.

Chettiar, N., Narayan, S., Goundar, J. N., and Deo, A. 2015. Design of a gorlov turbine for marine current energy extraction. Applied Mechanics and Materials.772: 556-560.

Choi, Y.D. 2008. Performance and internal flow characteristic of cross flow hydro turbine by the shape of nozzle and runner blade. Fluid Science and Technology, 3: 398-409.

Choi, Y. D., H. Y. Yoon, M. Inagaki, S. Ooike, Y. J. Kim, and Y. H. Lee. 2010. Performance improvement of a cross-flow hydro turbine by air layer effect. Timisoara, Romania. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 12(1): 1-9.

Gorban, A. N., Gorlov, A.M. and Silantyev V.M. 2001. Limits of the Turbine Efficiency for Free Fluid Flow. Energy Resources Technology. 123(4): 311-317

Gorlov, A. M. 1995. The helical turbine: A new idea for low-head hydropower. Hydro Review, 14 (5), 44-50.

Hinchey, M. Keough, R. Mullaley, V. Sinclair, H. and Walsh, G. 2014. Design, Fabrication and Testing of a Water Current Energy Device. Mechanical Design Project II – ENGI 8926. University of Newfoundland.

Kumar, A. and Saini, R. P. 2017. Performance analysis of a single stage modified Savonius hydrokinetic turbine having twisted blades. Renewable Energy, 113: 461-478.

Kolekar, N. and Banerjee, A. 2015. Performance characterization and placement of a marine hydrokinetic turbine in a tidal channel under boundary proximity and blockage effects. Applied Energy, 148: 121–133.

Subhra Mukherji, S., Kolekar, N., Banerjee, A. and Mishra, R. 2011. Numerical investigation and evaluation of optimum hydrodynamic performance of a horizontal axis hydrokinetic turbine. Renewable and Sustainable energy, 3(6): 1-18.

Noruzi, R., Vahidzadeh, M., and Riasi, A. 2015. Design, analysis and predicting hydrokinetic performance of a horizontal marine current axial turbine by consideration of turbine installation depth. Ocean Engineering, 108, 789-798.

Shahsavarifard, M., Bibeau, E. L., and Chatoorgoon, V. 2015. Effect of shroud on the performance of horizontal axis hydrokinetic turbines. Ocean Engineering, 96, 215-225.

Hydraulic Investigation of Blades Angle Effect on the Gorlov Turbine Efficiency in Low-speed Water Flow

Ehsan Moghaddasi[1], Nazanin Shahkarami[2*]

Abstract

A fundamental solution to save fossil fuels and to avoid air pollution is using small water turbines. In this study, an example of a hydrodynamic turbine that can generate electricity in low-flow and low-velocity flows is proposed. After extensive research on the problem's theory, the 3D shape of the turbine blades was modelled in SOLIDWORKS software and introduced as an input in the FLOW-3D model. For each turbine with different blade angles and for different depths of flow, the interaction between the fluid and blades were evaluated and analyzed to determine the turbine that has the highest torque and angular velocity. The basic premise of this study is that the turbine, which has the maximum angular velocity and torque speed, without oscillation and mutation and without the changes of torque direction, certainly has more power and has the optimal blade angle and flow conditions. All turbines had the highest torque and angular velocity at a discharge of 20 $\frac{lit}{s}$ and at the depth of 5 cm and therefore had more power. Accordingly, it was concluded that the most suitable location for greater efficiency and greater power of the turbine is its location near the flow surface. Also a turbine with a blade angle of 70 degrees had the best efficiency among the turbine blades with respect to the created torque and angular velocity.

Keywords: Hydro Turbine, Gorolv Turbine, Low Speed, Open Channel, FLOW-3D

[1] Graduated Student of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran Email: ehsan.1987@usa.com

[2]* Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Arak University, Arak, Iran; n-shahkarami@araku.ac.ir (Corresponding author)