



## دومین همایش منطقه‌ای مهندسی مکانیک

# بررسی تجربی پدیده کاویتاسیون در یک توربین کاپلان تحت ارتفاع‌های ریزش مختلف

محمد حسن جوارشکیان<sup>۱</sup>، عباس قاسمی<sup>۲</sup>

دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز

djavaresh@Tabrizu.ac.ir

### چکیده

در این مقاله با تغییر ارتفاع ریزش و زوایای پره‌های توربین کاپلان، پدیده کاویتاسیون در ناحیه‌های مختلف روی پره بطور تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. در مطالعه فوق همچنین رابطه‌ای بین زاویه تیغه‌های توربین و زاویه تیغه‌های راهنمای طوری بدست آورده شده که بهترین راندمان، تحت شرایط مختلف کار توربین کاپلان حاصل شود. پدیده کاویتاسیون بستگی به شرایط تیغه‌های ثابت و متحرک توربین، سرعت زاویه‌ای و ... می‌تواند در مکانهای مختلف پره از جمله اطراف هاب، لبه حمله پره و ریشه پره اتفاق بیافتد که ایجاد این پدیده در آن مکانها احتمال تخریب پره در منطقه فوق را بیشتر می‌نماید. در تحقیق حاضر پدیده کاویتاسیون در ناحیه‌های مختلف روی پره با عکس برداری مورد بررسی قرار گرفته و شرایط کاری با بیشترین راندمان که در آن شرایط، کاویتاسیون اتفاق نیافتد پیدا شده است.

واژه کلیدی: توربین کاپلان ، کاویتاسیون ، ارتفاع ریزش

۱-دانشیار و مدیر گروه مهندسی مکانیک

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز



## دومین همایش منطقه‌ای مهندسی مکانیک

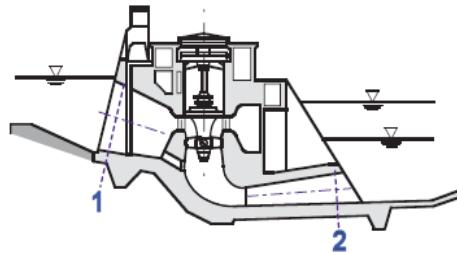
### ۱. مقدمه

کاویتاسیون یکی از پدیده‌های منحصر به فرد در زمینه هیدرودینامیک است که در هر نوع ماشین هیدرولیکی مانند پمپ‌ها، توربین‌ها، دریچه‌ها، قلب‌های مصنوعی و غیره می‌تواند اتفاق بیافتد. امروزه با پیشرفت تکنولوژی توجه به مسائلی که باعث کاهش بازده و عمر مفید تجهیزات می‌شوند بیشتر شده و انجام فعالیتهای تحقیقاتی در این زمینه در حال گسترش است. یکی از عوامل موثر در کاهش بازده و عمر تجهیزات هیدرولیکی پدیده کاویتاسیون می‌باشد لذا تجهیزات بایستی به نحوی طراحی شوند که از وقوع کاویتاسیون جلوگیری شده و یا در حد قابل کنترل، موجود باشد. عبارت دیگر کاویتاسیون کنترل نشده در جریانهای هیدرودینامیکی اثرات بسیار خطرناک و پرهزینه‌ای خواهد داشت و طراحان مجبور هستند بخاطر کنترل این پدیده و جلوگیری از اثرات نامطلوب آن، محدودیتهای زیادی را در طراحی ابزارهای هیدرودینامیکی اعمال کنند.

بدلیل اهمیت این پدیده تعدادی از محققین از زاویه‌های مختلف به این پدیده نگاه و آن را مورد مطالعه قرار دارند از جمله آنها می‌توان به تحقیقات **Best** اشاره نمود. ایشان در رساله دکترای خود اثر نیروی شناوری و مرزهای مجاور حباب‌ها را مورد بررسی قرارداد [۱]. **Tomita & Shima** امواج ضربه‌ای تولید شده و تخریب ناشی از فروپاشی حباب را مورد توجه قرار دادند [۲]. در سال ۱۹۸۹ این دو محقق مطالعه تجربی را در مورد رشد و فروپاشی حباب ناشی از اعمال انرژی موضعی در کنار سطح کامپوزیت شامل دو ماده ویسکوالاستیک انجام دادند. **Schiffers** و همکارانش مراحل مختلف در فروپاشی حباب تولید شده توسط لیزر در مجاورت سطح صلب را با استفاده از روش عکسبرداری مورد مطالعه قرار دادند [۳]. **Robinson & Blake** به بررسی رفتار حباب در کنار سطح ازاد بطور تجربی با استفاده از روش عکسبرداری سریع و بطور عددی از روش انتگرال مرزی پرداختند [۴]. **Tomita** و همکارانش حباب تولید شده توسط اشعه لیزر در نزدیکی مرز صلب منحنی شکل را با استفاده از روش عکس برداری سریع بطور تجربی مورد مطالعه قرار دادند [۵].

طراحی و عملکرد توربین‌های آبی، پمپ‌ها و پمپ-توربین‌ها به شدت به پدیده کاویتاسیون بستگی دارد، که ممکن است در هر دو بخش ساکن و متحرک ماشین اتفاق بیافتد. در سال ۲۰۰۴ **François Avellan** وقوع پدیده کاویتاسیون و نوع کاویتاسیون گسترش یافته با توجه به سرعت مخصوص ماشین‌ها را در توربوماشین‌ها در حالت پمپ و توربین و تاثیر شرایط کاری مانند بار، ارتفاع ریزش و غوطه‌وری را بررسی نمود. بنابراین، برای هر نوع کاویتاسیون نشان داده شده با تصویر سازی جریان با استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی **EFPL**، تاثیر گسترش کاویتاسیون بر راندمان و کارکرد ماشین، مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۱) نمای یک نیروگاه شامل توربین کاپلان را نشان می‌دهد [۶].

## دومین همایش منطقه‌ای مهندسی مکانیک



شکل (۱) : نمای یک نیروگاه دارای توربین کاپلان [۶]

در سال ۲۰۰۷، A.S. Bahaj و همکاران نتایج مربوط به تونل کاویتاسیون و آزمایش‌های مخزن روی یک توربین دریایی (MCT) به قطر (mm) ۸۰۰ را ارایه نمودند. آزمایش‌ها در یک تونل کاویتاسیون Xavier به اندازه  $2/4m \times 1/2m$  و مخزن یدکی به طول ۶۰m انجام شد [۷]. در سال ۲۰۰۶، Escaler و همکاران به یک تحقیق تجربی در زمینه ردبایی کاویتاسیون در توربین‌های هیدرولیکی واقعی پرداختند. روش کار بر اساس تحلیل ارتعاشات ساختاری، آلایندگی صوتی و فشار هیدرودینامیکی اندازه گرفته شده در ماشین است. روش‌های پیشنهاد شده، در نمونه‌های واقعی درگیر انواع مختلف کاویتاسیون، آزمایش شدند. یک توربین کاپلان، دو توربین فرانسیس و یک پمپ-توربین مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین یک توربین فرانسیس واقعی در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار گرفتند. در این مقاله بیشتر به انواع مهمتر کاویتاسیون یعنی، (leading edge cavitation) به سبب قدرت سایندگی آن و (bubble cavitation) به خاطر تاثیر آن بر کارکرد ماشین، پرداخته شده است [۸].

در این تحقیق، مطالعه بیشتری از پدیده کاویتاسیون در ناحیه‌های مختلف روی پره یک توربین کاپلان با عکس برداری مورد بررسی قرار گرفته و شرایط کاری با بیشترین راندمان که در آن شرایط، کاویتاسیون اتفاق نیافتد پیدا شده است که در روند مطالعه با تغییر ارتفاع ریزش و زوایای پره‌های توربین کاپلان، پدیده کاویتاسیون در ناحیه‌های مختلف روی پره بطور تجربی مورد بررسی قرار گرفته است.

### ۳. روش آزمایش:

هدف از انجام آزمایشها بدست آوردن اطلاعات جامع در مورد انواع مختلف فرآیند کاویتاسیون و نحوه عملکرد آنها در توربین‌های کاپلان است. مدار آزمایش توربین شامل یک توربین کاپلان - پمپ محوری می‌باشد که توسط شرکت Armfield ساخته و در آزمایشگاه مکانیک سیالات دانشگاه تبریز نصب و مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدار طراحی شده با داشتن انعطاف پذیری و قابل تغییر بودن آن، مناسب برای خواسته‌های موسسات آموزشی مختلف است. شکل (۲) تصویر مدار تست موجود در آزمایشگاه را نشان می‌دهد.

## دومین همایش منطقه‌ای مهندسی مکانیک



شکل (۲): تصویر مدار تست موجود در آزمایشگاه(پایین)، توربین کاپلان(بالا راست)  
و پمپ محوری(بالا چپ)

توربین مورد استفاده در این دستگاه از نوع توربین محوری نوع کاپلان  $N_s = 135$  با دور مخصوص ۸° می باشد. تنظیم زاویه تیغه های گردنده موقعی انجام می گیرد که ماشین ایستاده است. بوسیله خط کش مدرجی که در دستگاه جاسازی شده است، موقعیت تیغه های گردنده رامی توان مشاهده نمود. رابطه بین درجه های این خط کش و موقعیت تیغه ها بصورت یک منحنی کالیبره می باشد. تیغه های راهنمای توربین بوسیله یک اهرم دستی حرکت می کنند. بوسیله یک خط کش مدرج دیگر موقعیت تیغه های راهنمای را می توان بر حسب تعداد درجات باز شده تعیین کرد. مقدار گشتاور تولیدی توربین را می توان بوسیله یک دینامومتر اصطکاکی اندازه گرفت. مقدار بار توربین را می توان با اضافه کردن وزنه هایی افزایش داد و گشتاور منتجه اعمال شده را می توان با محاسبه تفاوت بین وزنه های مرده اعمال شده و عدد خوانده شده از روی نیروسنجد فنری و ضرب این عدد در شعاع صفحه ترمز تعیین کرد. دور توربین را می توان با کمک یک دورسنجد که بوسیله تسمه ای می گردد، مشخص نمود. در لوله ورودی توربین بوسیله ای برای تولید اختلاف فشار دیفرانسیلی قرار داده شده است که فاصله بالا دست جریان و پایین دست جریان آن مطابق استاندارد بریتانیا است. این بوسیله یک روزنه (Orifice) می باشد که اختلاف فشار ایجاد شده در دو طرف ارفیس به یک مانومتر مجهز به خط کش کالیبره منتقل می گردد و توسط این خط کش مستقیما می توان مقدار جریان عبوری را خواند.

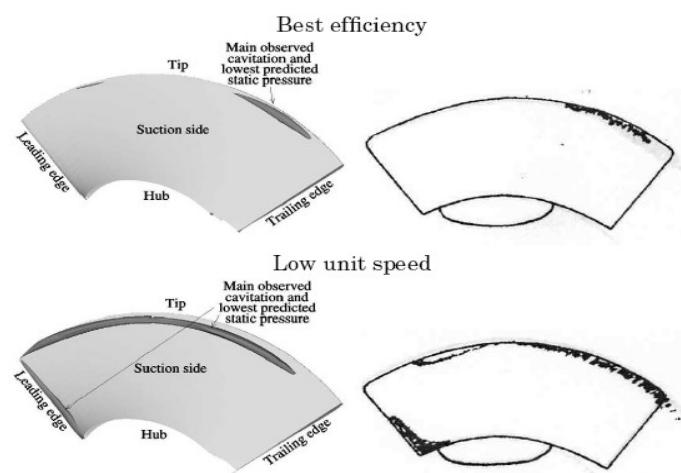
## دومین همایش منطقه‌ای مهندسی مکانیک

با انجام آزمایش در تغییر زاویه تیغه های پره متحرک و ارتفاع های ریزش مختلف تعدادی از منحنی های مشخصه توربین کاپلان بدست آورده شده است. از این آزمایشها، می توان رابطه ای بین زاویه تیغه های توربین و زاویه تیغه های راهنمایی بدست آورده و بهترین راندمان را تحت شرایط مختلف کار توربین کاپلان مشخص نمود، همچنین در این مطالعه پدیده کاویتاسیون نیز بررسی شده است. برای بدست آوردن این شرایط، کافیست که آزمایشها رابه ازای ارتفاع های ریزش مختلف انجام داده و در هر کدام از این سری آزمایشها توربین یک پروانه (Propeller) بکار برد یعنی اینکه زاویه آن را ثابت نگه داشت. همچنین برای شبیه سازی شرایط ارتفاع های ریزش مختلف از یک پمپ محوری در مدار استفاده شده است که فشار معادل ارتفاع ریزش را فراهم می آورد.

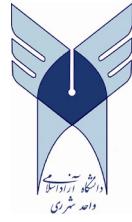
آزمایش ها را برای زاویه پره راهنمای ۳۷ درجه و برای مقادیر گوناگون زاویه پره های متحرک انجام شده است. در هر مرحله با استفاده از دستگاه استربوبوسکوپ پیدایش کاویتاسیون و گسترش آن و الگوهای آن مشاهده و عکس برداری می شود که عکس های مربوطه در ادامه آورده شده اند. با توجه به این الگوها مناطقی را که کاویتاسیون بیشتر در آنها رخ می دهد و شرایطی که باعث تشديد این مساله می گردد برای ما مشخص می شود. مقادیر توان ورودی و خروجی و راندمان توربین در هر مرحله محاسبه شده و تغییرات آنها به ازای مقادیر مختلف دبی و ارتفاع ریزش بررسی شده و نمودارهای مربوطه رسم می شوند.

### ۳. بحث و بررسی نتایج :

شکل (۳) ناحیه های که احتمال وجود کاویتاسیون در پره توربین کاپلان پیش بینی می شود را نشان می دهد. برای تحلیل بهتر مسئله لازم است عدد کاویتاسیون که مطابق معادله (۱) می باشد را در نظر داشته باشیم :



شکل (۳) : نواحی دارای فشار استاتیک پایین در توربین کاپلان. [۹]



## دومین همایش منطقه‌ای مهندسی مکانیک

$$\sigma = \frac{(P - P_v)}{\frac{1}{2} \rho V^2} \quad (1)$$

که در رابطه فوق ( $p$ ) فشار مطلق در نقطه مرجع در جریان،  $P_v$  فشار بخار سیال در دمای انجام آزمایش، ( $\rho$ ) چگالی، ( $V$ ) سرعت در نقطه مرجع می‌باشد.

آنچه این عدد بدون بعد در فرآیند آزمایش به ما می‌دهد این است که آیا فشار مایع تا حد فشار لازم برای شروع کاویتاسیون می‌باشد یا خیر؟ اگر مقدار ( $\sigma$ ) به اندازه کافی بزرگ باشد هرگز کاویتاسیون اتفاق نخواهد افتاد. برخلاف اعداد بی بعد متداول در مکانیک سیالات نظری رینولدز، فرود، و بر و ماخ که نسبت دو نیرو به یکدیگر هستند، عدد بدون بعد کاویتاسیون نسبت دو نیرو به یکدیگر نیست و صرفاً کمک کننده در راستای مقایسه فشار مطلق سیال در نقاط مختلف جریان با فشار بخار سیال در دمای انجام آزمایش است.

وجود ذرات حل نشده و ریز گاز در داخل مایعات باعث می‌شود که از نیروی کشش بین مولکولی مایع بشدت کاسته شود و در اثر کاهش فشار مایع در حوالی ذرات موجود گاز، مایع به بخار تبدیل شده و به صورت حبابهایی در سیال ظاهر شود. وجود لایه مرزی در جریان باعث می‌شود که حبابهای گاز به طور ناگهانی تبدیل به مایع شود. این مسئله موجب ایجاد موج فشار نسبتاً قوی می‌شود. علاوه بر این تغییر ناگهانی فشار در اثر تغییر حجم حبابهای بخار و تبدیل آن به مایع همچنین باعث افزایش موضعی و ناگهانی دما می‌شود که این هم به نوبه خود به تخریب دیواره کمک می‌کند.

اگر ورودی و خروجی توربین را بعنوان حجم کنترل در نظر بگیریم می‌توانیم با بکاربردن معادله برنولی و پیوستگی برای سیال بین مرزها به رابطه زیر که مقدار توان ورودی توربین را نشان می‌دهد، و در آن  $H: [mH_2O]$  و  $Q: [lit/Sec]$  هستند، بررسیم:

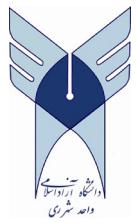
$$P_{in} = \rho.g.H.Q \quad (2)$$

همچنین توان خروجی توربین برابر است با قدرت جذب شده بوسیله تسمه به اضافه تلفات ناشی از انتقال قدرت:

$$P_{out} = P_t = P_l + P_b \quad (3)$$

در این معادله  $P_l$  نشانگر تلفات ناشی از انتقال قدرت می‌باشد و برابر قدرت جذب شده بوسیله اصطکاک یاتاقان، نیروی مقاومت هوا و غیره می‌باشد. مقدار  $P_b$  برای وسایل آزمایشی مختلف فرق خواهد کرد، ولی عموماً در حدود  $1/10$  تا  $1/15$  کیلووات می‌باشد که ما در محاسبات  $1/12$  را منظور کرده ایم، همچنین قدرت جذب شده توسط تسمه  $P_b$  از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$P_b = (W_1 - W_2) \cdot \frac{D}{2} \cdot g \cdot \frac{2\pi N}{60} \quad (4)$$



## دومین همایش منطقه‌ای مهندسی مکانیک

(۵) بنابراین راندمان هیدرولیکی برابر خواهد بود با :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

جدول (۱) نتایج بدست آمده از آزمایش ها را به ترتیب مراحل انجام آزمایش و شماره عکس‌های گرفته شده نشان می‌دهد.

جدول (۱) : نتایج بدست آمده از آزمایش ها

مرحله	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
شماره عکس	۱۹۲	۳۹۴	۵۰۷	۸۰۹۱۰	۱۱۰۱۲۱۳	۱۴۰۱۵۱۶	۱۷۰۱۸۱۹
فشار پایین	-۰/۱	۰/۱	-۰/۱	-۰/۱	-۰/۱	۰/۱۳	۰/۲
$P_l [mH_2O]$ دست							
$Q[m^3/s]$ دبی	۰/۲۲۳	۰/۱۸۳	۰/۲۳	۰/۲۳۶	۰/۲۴۲	۰/۱۵	۰/۰۸۵
$F_{Tur} [Kg]$	۵	۶/۵	۶	۶/۵	۷	۷	۶
$N_{Tur} [Kg]$	۳۰۰۰	۲۷۵۰	۳۰۰۰	۲۹۵۰	۲۹۰۰	۲۴۵۰	۱۸۰۰
[Deg] زاویه پره	۵۵	۴۴	۵۹	۶۴	۶۸	۳۶	۲۴/۵
زاویه پره راهنمای [Deg]	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷
فشار بالا	۰/۹	۱/۳	۰/۷	۰/۶	۰/۶	۱/۵	۱
$P_{up} [bar]$ دست							
هد توربین	۹/۱۷۷	۱۳/۲۵۶	۷/۱۳۸	۶/۱۱۸	۶/۱۱۸	۱۵/۳	۱۰/۲
$H [mH_2O]$							
توان ورودی	۲۰/۰۷	۲۳/۷۹	۱۶/۱	۱۴/۱۶	۱۴/۵۲	۲۲/۵	۸/۵
$P_{in} [KW]$							
توان	۲/۴۳	۲/۸۷۳	۲/۸۹۲	۳/۰۷۳	۳/۲۴۶	۲/۷۶۱	۱/۷۸۳
$P_{out} [KW]$ خروجی							
راندمان	۰/۱۲۱	۰/۱۲۱	۰/۱۸	۰/۲۱۷	۰/۲۲۴	۰/۱۲۳	۰/۲۱

## دومین همایش منطقه‌ای مهندسی مکانیک

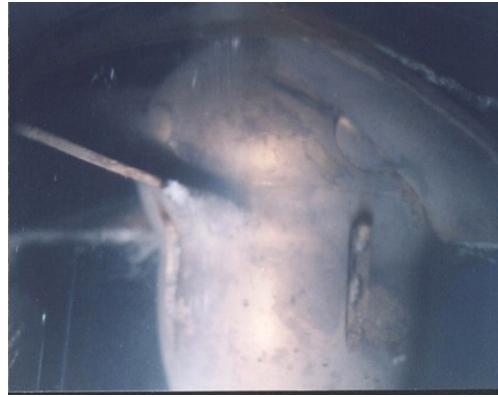
شکل (۴) (عکس ۱) نشان می‌دهد که شدت وقوع کاویتاسیون در پایه پره، جاییکه کاویتاسیون گلوگاه نامیده می‌شود، بیشتر است، همچنین در شکل فوق کاویتاسیون WAKE نیز مشاهده می‌شود. کاویتاسیون در ریشه پره بیشتر به دو صورت دیده شده است، حباب‌های در حال حرکت و کاویتاسیون ورقه‌ای (Sheet Cavitation) که می‌تواند با حالت گردابه‌ای همراه باشد، نوع کاویتاسیون به شرایط کاری وابسته است. کاویتاسیون حباب‌های متحرک با افزایش غلظت حباب‌ها در اثر کاهش عدد کاویتاسیون، به کاویتاسیون ورقه‌ای تبدیل می‌شود.



شکل (۴) : کاویتاسیون در ریشه پره

کاویتاسیون در سطح خروجی پره و همچنین Tip Vortex Cavitation در شکل (۵) (عکس شماره ۲) دیده می‌شود. ملاحظه می‌گردد، که اگرچه تصویرهای گرفته شده ۱ و ۲ در یک شرایط مشخص می‌باشد اما عکس‌های متفاوتی را نشان می‌دهد که مبین ناپایداری کاویتاسیون می‌باشد. دو مکانیزم مهمی که موجب شکل گیری کاویتاسیون در نوک پره می‌شوند، عبارتند از: جریان در بین نوک پره متحرک و دیواره (tip clearance flow) و جدایش دنباله لایه مرزی نوک پره‌ها در دیواره حلقه خروجی. باید اشاره شود گردابه بوجود آمده در نوک پره که در اثر جریان بین نوک و دیواره پدید می‌آید با گردابه ناشی از جدایش انتهای لایه مرزی، دارای جهت‌های چرخش مخالف هستند [۱۰ و ۱۱].

## دومین همایش منطقه‌ای مهندسی مکانیک



شکل (۵): کاویتاسیون در سطح خروجی پره

شکل (۶) (عکس شماره ۴) در شرایط هد  $13/256 [mH_2O]$  گرفته شده است، در آن شرایط، راندمان کمترین مقدار را دارد و ابرهای کاویتاسیون در اطراف Hub و ریشه پره دیده می شود. در اینجا بحث را به کاویتاسیون ایجاد شده در ورودی پره ها، در ریشه پره و نوک آنها محدود می کنیم. دلیل این محدودیتها این است که از انواع کاویتاسیون موجود این نوع کاویتاسیون ها بیشتر در توربین کاپلان وجود دارند و عامل اصلی تخریبها و خوردگیها هستند.



شکل (۶): کاویتاسیون در اطراف هاب و ریشه پره.

در شکل (۷) (عکس شماره ۶) گسترش کاویتاسیون روی سطح پره و ریشه و همچنین وقوع کاویتاسیون گردابه ای در لبه پره (Tip Vortex Cavitation) در هد  $7/138 [mH_2O]$  مشاهده می شود . کاویتاسیون شروع شده در لبه بیرونی پره غالبا نتیجه زاویه حمله نادرست پره می باشد. اساسا زاویه حمله عاملی است که شروع کاویتاسیون در لبه را تحت کنترل خود دارد. این زاویه اگر مناسب نباشد موجب جدایی جریان در مرز سیال و پره شده و موجب آغاز کاویتاسیون می شود. یک نوع کاویتاسیون در لبه بیرونی پره، کاویتاسیون حلقه ورتکسها هستند که در اثر نزدیک بودن به سطوح کاویتاسیون ایجاد می گردند. این ورتکسها به دلیل تشکیل در نزدیکی سطوح در همان مناطق



## دومین همایش منطقه‌ای مهندسی مکانیک

نیز شکسته شده و پخش می‌شوند و چون دارای مومنت نسبی بالایی نسبت به پره‌های روتور هستند عامل ایجاد خوردگی سطحی غیر شیمیایی نیز می‌شوند.



شکل (۷) : کاویتاسیون روی سطح پره و ریشه و همچنین کاویتاسیون گردابه‌ای در لبه پره (Vortex Cavitation)

در شکل (۸) (عکس شماره ۸) کاویتاسیون در ریشه پره و در سطح لبه خروجی دیده می‌شود. ضمناً علت ایجاد نوار تیره در این عکس و برخی عکس‌ها مشخص نشد که جای تأمل دارد. عکسهای ۸ تا ۱۳ در هدایت پایین و سرعت بالا گرفته شده‌اند که موجب تشدید کاویتاسیون گرفته شده است.



شکل (۸) : کاویتاسیون در ریشه پره و در سطح لبه خروجی

شکل (۹) (عکس شماره ۱۲) عکس برداری در هدایت  $6/118 [mH_2O]$  را نشان می‌دهد، کاویتاسیون در ریشه، سطح لبه خروجی پره و همچنین قسمت‌هایی از هاب شکل گرفته و گسترش یافته است. کاویتاسیون اتفاق افتاده در ریشه‌پره‌ها در دو محل قابل رویابی است. اول محل نزدیک به فلنچ پره و دوم روی سطح آن (منظور سطح داخلی پره می‌باشد). برخی مکانیزم‌های جریانی که بر کاویتاسیون



## دومین همایش منطقه‌ای مهندسی مکانیک

ریشه تاثیر مستقیم می‌گذارند در شرایط مختلف حرکتی روتور مشخص می‌شوند. این مکانیزم‌های جریانی اساساً از یکی از موارد زیر ناشی می‌شوند:

- ۱- فیلت بین پره و فلنچ پره در انتهای بالادست فلنچ
- ۲- گوشه بین لبه بیرونی و چرخ دوار مانند
- ۳- اتصال بین چرخ گردنه و کاور پوشاننده داخلی ثابت [۱۲].



شکل (۹) : کاویتاسیون در ریشه ، سطح لبه خروجی پره و هاب

نتایج عکس برداری در هد بیشینه  $mH_2O/3^{15}$  در شکل (۱۰) (عکس شماره ۱۶) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود اگرچه نقاط دارای فشار استاتیکی کم، کاهش یافته، اما بدلیل سرعت بالای پره متحرک، کاویتاسیون در ناحیه کوچکی در اطراف هاب قابل مشاهده است.



شکل (۱۰) : کاویتاسیون در اطراف هاب



## دومین همایش منطقه‌ای مهندسی مکانیک

شکل (۱۱) (عکس شماره ۱۸) در هد  $mH_2O$  ۱۰/۲ گرفته شده است و نشان می‌دهد پدیده کاویتاسیون تقریباً محو شده است و اثری از حباب‌های کاویته شده نیست. علت را می‌توان در پایین بودن دور توربین بیان نمود.



شکل (۱۱) : ناپدید شدن کاویتاسیون

با توجه به جدول (۱) تغییرات هد بر حسب راندمان را بررسی می‌کنیم. از هد ۹/۱۷۷ تا ۶/۱۱۸ توان ورودی به توربین افزایش می‌یابد و موجب کاهش راندمان می‌شود، از ۹/۱۷۷ تا ۱۰/۲ در پی کاهش توان ورودی و تغییر انداز توان خروجی راندمان افزایش می‌یابد و سپس در فاصله ۱۰/۲ تا ۱۵/۳ توان ورودی دوباره افزایش یافته و موجب رفتار کاهشی راندمان می‌شود. با در نظر گرفتن تغییرات توان ورودی با هد ملاحظه می‌شود که، علیرغم کاهش انداز دبی از هد ۹/۱۷۷ تا ۶/۱۱۸، توان ورودی افزایش می‌یابد. اما از هد ۹/۱۷۷ تا ۱۰/۲ کاهش شدید دبی توان ورودی را کاهش می‌دهد، سپس با افزایش همزمان دبی و هد، از هد ۱۰/۲ تا ۱۳/۲۵۶ توان ورودی افزایش می‌یابد و در نهایت در قسمت انتهایی کاهش مجدد دبی توان ورودی را کاهش می‌دهد.

در جریان آزمایش‌ها و با توجه به نتایج آورده شده در جدول (۱)، توان خروجی تغییرات زیادی نداشت. یعنی می‌توان گفت که تاثیر توان ورودی بر تغییرات راندمان، به تاثیر توان خروجی غالب است. در نتیجه با توجه به معادله (۲) توان ورودی و به پیروی از آن راندمان، وابستگی زیادی به تغییرات هد و دبی دارند.

### ۴. نتیجه گیری

در این مقاله با تغییر ارتفاع ریزش و زوایای پره‌های توربین کاپلان، پدیده کاویتاسیون در ناحیه‌های مختلف روی پره بطور تجربی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با توجه به عکس‌های بدست آمده انواع کاویتاسیون در ناحیه‌های مختلف روی پره، و برخی مکانیزم‌های به وجود آورنده آن مورد بررسی قرار گرفت. در مراحل مختلف، با درنظر گرفتن تغییرات انداز توان خروجی در مورد تاثیر توان ورودی و در پی آن، دبی و هد بر راندمان، بحث شده است.



## دومین همایش منطقه‌ای مهندسی مکانیک

### مراجع

- [1] Best, J.P.(1991),”The Dynamics of under water explosions”, PHD Thesis ,University of Wallongong , Wallongong , Australia.
- [2] Tomita,Y . & Shima,A. (1986) , “mechanisms of impulsive pressure generation and damage pit formation by bubble collapse ”, J. Fluid Mech.,Vol.169,pp.535-564.
- [3] Schifflers, W.P. ,Shaw , S.J , Emmony ,D.C. ,(1998),:” Acoustical and Optical tracking of the collapse of a laser generated cavitation Bubble near a solid boundary ”,Ultrasonic 36 ,PP. 559-563.
- [4] Robinson P.B. & Blake J.R.(2001) ,”Interaction of cavitation bubbles with a free surface”,Journal of applied physics , VOL.89 ,NO.12.
- [5] Tomita Y. & Robinson P. B. & Tong R.P. (2002),”Growth and collapse of cavitation bubbles near a curved rigid boundary ”,J. Fluid Mech. Vol.466 ,PP. 259-283 .
- [6] François AVELLAN,(2004),” INTRODUCTION TO CAVITATION IN HYDRAULIC MACHINERY “,The 6th International Conference on Hydraulic Machinery and Hydrodynamics Timisoara, Romania, October 21 - 22, 2004
- [7] A.S. Bahaja,\_, A.F. Mollandb, J.R. Chaplina, W.M.J. Battena ,(2007) ,” Power and thrust measurements of marine current turbines under various hydrodynamic flow conditions in a cavitation tunnel and a towing tank ” Renewable Energy 32 (2007) 407–426
- [8] Xavier Escalera,\_, Eduard Egusquiza, Mohamed Farhatb, Francois Avellanb , Miguel Coussirata ,(2006) ,” Detection of cavitation in hydraulic turbines “,Mechanical Systems and Signal Processing 20 (2006) 983–1007
- [9] Hakan Nilsson ,Chalmers /Applied Mechanics /Fluid Dynamics
- [10] Lakshminarayana, B. 1996 *Fluid dynamics and heat transfer of turbo machinery* .New York: John Whiley & Sons, Inc.
- [11] Raabe, J. 1985 *Hydro Power: The design, use, and function of hydro mechanical, hydraulic, and electrical equipment*. Dusseldorf: VDI Verlag.
- [12] Mikael Grekula and Goran Bark,2001,’EXPERIMENTAL STUDY OF CAVITATION IN A KAPLAN MODEL TURBINE’ ,CAV2001:sessionB9.004 , Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden,

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.