



طراحی سیستم جت آب جهت رانش شناور

مهدی یوسفی فرد^۱، منوچهر راد^۲، علی حاجیلوی^۳

تهران، خیابان آزادی، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی مکانیک

yousefifard@mehr.sharif.edu

چکیده:

انتخاب سیستم رانش مناسب از اولویت های مهم پروسه طراحی شناور می باشد. سالها پیش این تفکر که می توان با استفاده از پمپ و ایجاد مومنتم تولید نیروی رانش کرد باعث شد اولین سیستم جت آب ساخته شود. با ورود پمپهای با تکنولوژی بالاتر و راندمان بهتر این سیستم توانست به عنوان رقیب جدی در محدوده های خاص برای سایر سیستم ها مطرح شود. مزایای فراوان از قبیل قابلیت مانور بالا، عدم وجود ملحقات، احتمال کم کاویتاسیون و سایر موارد باعث شده است این سیستم بیشتر در شناورهای نظامی و تندرو کاربرد داشته باشد.

در این مطالعه با معرفی این سیستم و بر شمردن مزایا و معایب آن به بررسی پارامتریک مشخصه های مؤثر خواهیم پرداخت. روشهای محاسبه نیروی رانش شناور بررسی شده و اعتبار هر کدام از آنها مورد مطالعه قرار می گیرد. با در نظر گرفتن ضرائب جدید می توان مشخصات بهینه را بدست آورد. این ضرائب و چگونگی استفاده از آنها نیز آمده است.

در نهایت سیکل طراحی یک سیستم جت آب ارائه شده است. این سیکل بیانگر مراحل کار و توالی آنها است. با پیمودن مراحل ذکر شده می توان اقدام به طراحی سیستم جت آب نمود.

۱- مقدمه (معرفی اجمالی سیستم رانش جت آب):

با توجه به محدودیت ایجاد مومنتم پمپها، استفاده از سیستم جت آب نیز دچار محدودیت می گردد. البته این محدودیت امروزه برطرف گردیده و پمپهای غول پیکر در ساختمان شناورهای بزرگ تندرو مورد استفاده قرار می گیرند. در شکل ۱ نمونه ای از جانمایی سیستم جت آب در شناور دیده می شود. در شکل ۲ نیز اعضای اصلی این سیستم نشان داده شده است. این اجزا شامل ورودی^۴، پمپ^۵ و لوله خروجی^۱ می باشد. قبل از لوله ورودی شبکه

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد معماری کشتی-سازه دانشگاه صنعتی شریف

^۲ استاد دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شریف

^۳ استادیار دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شریف

^۴ Intake

^۵ Imeller



ای قرار دارد که به عنوان فیلتر عمل می کند. طراحی قسمت ورودی نیز مستلزم در نظر گرفتن پارامترهای زیادی است که تا حد امکان به آنها نیز پرداخته خواهد شد. پس از بخش ورودی، ایمپلر قرار داد که در حقیقت یک پمپ ایجاد کننده مومنتم جریان است. معمولاً در این واحد از یک پمپ جریان محوری استفاده می گردد. طراحی این پمپ بر مبنای توان، هد خروجی و سرعت دوران است. این پمپ می تواند شعاعی^۲، محوری^۳ و یا ترکیبی^۴ باشد. پس از پمپ استاتور قرار دارد که وظیفه آن از بین بردن جریان دورانی می باشد. استاتور شامل پره هایی مستقیم است که به جریان خارج شده از ایمپلر جهت می دهد. پس از استاتور، جریان از درون نازل خروجی می گذرد. معکوس کننده جریان نیز به صورت های مختلف به عنوان یک سکان عمل می کند. طراحی سیستم جت آب با توجه به نوع شناور و فرم بدنه ممکن از به شیوه های مختلف طراحی گردد. به عنوان مثال در شناورهای هیدروفویل، لوله ورودی از شناور خارج شده و شکل کلی سیستم تغییر می کند.

۲- مقایسه سیستم رانش جت آب با سایر سیستمها:

از آنجا که سیستم جت آب برای شناورهای با سرعت بالا مورد استفاده قرار می گیرد، بنابراین مقایسه این سیستم با سایر سیستمها نیز در محدوده عملکرد سیستم جت آب انجام شده است.

۲-۱- مزایای استفاده از جت آب:

- عدم وجود زائده های ایجاد کننده مقاومت در شناورهای تندرو
 - سر و صدای کم و عدم ارتعاش
 - از بین رفتن خطر اضافه بار موتور و پدیده Racing^۵
 - تولید قدرت و سرعت مطلوب
 - قابلیت نصب هر گونه موتور بر روی این سیستم رانش
 - محافظت سیستم از هر گونه شکستگی و ضربه
 - امکان استفاده از آن در طیف وسیعی از شناورها
 - قابلیت استفاده در آبهای کم عمق
 - عدم نیاز به دنده معکوس کننده و در نتیجه کاهش استهلاک
 - کاهش احتمال وقوع کاویتاسیون
 - قابلیت مانور و شتابگیری از سرعت های پایین
 - مناسب جهت استفاده در شناورهای سطحی
 - ایجاد نیروی برآ، در صورت لزوم و با هدایت جریان خروجی به سمت پایین
- با وجود مزایای نسبتاً زیاد ذکر شده در بالا، این سیستم دارای معایبی نیز می باشد که بسیاری از آنها با معایب موجود در پمپها مشترک است.

^۱ Nozzle

^۲ Centrifugal flow

^۳ Axial flow

^۴ Mixed flow

^۵ افزایش ناگهانی دور پروانه به علت خارج شدن از آب



۲-۲- معایب سیستم رانش جت آب:

- راندمان این سیستم در سرعت های پایین کم می باشد.
- تجهیزات نسبتاً زیاد سیستم باعث افزایش هزینه ها می گردد.
- بعلت وجود همیشگی مقدار زیادی آب در داخل سیستم وزن شناور به خصوص در سرعت های پایین افزایش می یابد.
- بعلت مسیر طولانی آب در داخل سیستم و مقاومت اصطکاکی دیواره، افت هد خروجی در سرعت های بالا بوجود می آید.

۳- معرفی اجزای مختلف سیستم جت آب و نحوه عملکرد هر کدام از آنها:

هنگام معرفی سیستم جت آب بطور اجمالی هر کدام از بخشها شرح داده شد. در این قسمت نگاه دقیق تری نسبت به این اجزاء خواهیم داشت:

۳-۱- کانال ورودی و فیلترها :

قبل از ورود آب به سیستم باید از گارد محافظ بگذرد. این وسیله از ورود اجسام خارجی به درون سیستم جلوگیری می کند. جهت جلوگیری از ایجاد مقاومت بیشتر، این گاردها از پره های طولی ساخته می شوند. اندازه سوراخ های این وسیله باید به گونه ای تنظیم گردند که علاوه بر عدم ورود اجسام ایجاد کننده خطر تا حد امکان مقاومت زیادی در برابر جریان ورودی به سیستم تولید نکنند. ممکن است دربخش ورودی پره های هدایت کننده جریان نیز وجود داشته باشد. همچنین در طراحی قسمت ورودی هنگامی که سطح مستطیلی شکل مکش آب در حال تبدیل به سطح دایره می باشد باید دقت خاصی صورت گیرد.

۳-۲- ایمپلر:

پمپ مورد استفاده در سیستم جت آب از همان قوانین مربوط به سایر پمپ ها پیروی می کند. برای این نوع سیستم می توان از سه پمپ محوری ، شعاعی و ترکیبی استفاده کرد. برای یک توربو ماشین خاص همواره یک نسبت بازده به ضریب جریان وجود دارد. این در حالی است که عدد رینولدز و کاویتاسیون را در نظر نگیریم.

۳-۳- استاتور:

شامل پره هایی است که از چرخش ایجاد شده در جریان خروجی از پمپ جلوگیری می کند.

۳-۴- نازل خروجی:

طراحی نازل خروجی به شکلی است که معمولاً سرعت خروجی آب حدود دو برابر سرعت شناور باشد.

۳-۵- درپوش معکوس کننده:

این وسیله وظیفه تغییر جهت جریان خروجی و در صورت نیاز توقف سریع جریان را دارد. حرکت این وسیله به صورت دورانی بوده و توسط بازوهای هیدرولیکی کنترل می گردد. هنگام حرکت به سمت عقب، جریان خارجی بصورت کامل معکوس نمی گردد و با زاویه ای حدود ۳۰ درجه تغییر جهت می دهد.



۴- طراحی اجزای سیستم جت آب:

به عنوان یک ضریب مؤثر در طراحی سیستم می توان به نسبت سرعت ورودی^۱ (IVR) اشاره کرد که به صورت زیر تعریف می گردد:

$$IVR = \frac{V_1}{V_s} \quad (1)$$

که V_1 سرعت آب ورودی و V_s سرعت شناور است.

این پارامتر بر روی هد پمپ، ایجاد کاویتاسیون و بازده سیستم مؤثر است. مقدار IVR در طراحی اولیه با توجه به سرعت شناور، نوع پمپ و قدرت خروجی محاسبه می گردد. پروسه طراحی بدین صورت است که پس از محاسبه سرعت، مشخصات پمپ و بازده، شرایط کاویتاسیون و سایر پارامترهای مؤثر نیز بررسی می گردد.

ابتدا مقدار IVR از محدوده مجاز انتخاب شده و پارامترهای داخلی با توجه به آن قابل محاسبه است. سپس عوامل خارجی نیز تأثیر داده می شود. از خروجی های ماتریس نشان داده شده در جدول ۱ می توان نسبت به طراحی و انتخاب سیستم اقدام نمود. با ادامه این پروسه می توان طراحی جزئیات را انجام داد.

در این مورد سؤالی که مطرح می گردد این است که سیستم جت آب در محدوده وسیعی از IVR عمل می نماید. در پاسخ این سؤال باید دقت بیشتری در انتخاب شرایط ماتریس طراحی نمود. این عمل باید طبق مراحل نشان داده شده در جدول ۲ انجام گردد. با انجام این عمل می توان انتخاب واحدی را برای کل سیستم داشت. برای طراحی جزئیات سازه های باید هر کدام از اجزاء را به صورت مجزا در نظر گرفت.

جدول (۱) ماتریس طراحی سیستم جت آب [۱]

IVR design/condition	۱	۲	۳	۴	۵
Off-design condition ۱	*	*	*	*	*
Off-design condition ۲	*	*	*	*	*
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Off-design condition N	*	*	*	*	*

^۱ Inlet Velocity Ratio



جدول ۲) مراحل انجام محاسبات سیستم جت آب [۱]

۱	محاسبه یک IVR
۲	انتخاب یک v_s برای انجام طراحی
۳	تعیین بیشینه RPM و چک کردن شرایط کایوتاسیون
۴	تعیین نوع پمپ
۵	تعیین قطر پمپ، نرخ جریان و سرعت مخصوص N_s
۶	تعیین RPM بهینه پمپ و نسبت $\frac{P}{D}$ و یا عدد Vane
۷	طراحی فرم پمپ برای بازده بهینه
۸	محاسبه افت داخلی
۹	محاسبه رانش کل و توان خروجی

۴-۱- انتخاب سیستم جت آب با توجه به پارامترهای طراحی :

معمولاً جهت انتخاب سیستم جت آب برای یک شناور از مشخصات سیستم که توسط کارخانه سازنده ارائه می گردد استفاده می شود. این اطلاعات شامل موارد زیر است:

الف- مشخصات نازل (قطر، زاویه پاشنه و ...)

ب- مشخصات ایمپلر (قطر، ...)

ج- مشخصات فیزیکی (وزن و هندسه)

د- بیشینه قدرت ورودی و RPM

ه- منحنی رانش (سرعت - رانش - توان) همانند شکل ۳

و- منحنی توان بر حسب RPM. همانند شکل ۴

۴-۲- ضرایب جدید سیستم جت آب:

بر اساس تفاوت های موجود بین سیستم جت آب و سایر سیستم های رانش می توان ضرایب جدیدی را برای این سیستم با چهار شرط زیر تعریف کرد.

الف - پارامتری باشند: این ضرایب باید پارامترهای موثر سیستم را در بر گیرند.

ب- عمومی باشند: باید برای تمام سیستم های جت آب مشترک باشند.

ج- معمول باشند: این ضرایب باید دربرگیرنده تعاریف مرسوم در سیستم های رانش باشند.

د- کد پذیر باشند: این ضرایب باید این توانایی را داشته باشند که در کدهای رایانه ای به کار روند.

با این شرایط می توان ضرایب زیر را تعریف کرد.



* ضریب سرعت - تراست - توان:

منحنی تراست داده شده برای سیستم جت آب قابل تفکیک به دو ضریب C_P و C_T است که به صورت زیر تعریف می گردند:

$$C_T = \frac{T}{\rho A_n v_s^2} \quad C_P = \frac{P}{\rho A_n v_s^3} \quad (2)$$

که :

P - توان شافت
 T - نیروی رانش
 ρ - دانسیته آب
 A_n - سطح تخلیه نازل
 v_s - سرعت شناور

مقادیر بالای C_P و C_T نشان دهنده منطقه با نیروی رانش بالا و سرعت کم است. بوسیله این ضرایب می توان بازده سیستم را نیز محاسبه کرد. این بازده به صورت $\eta_{jet} = \frac{C_T}{C_P}$ تعریف می گردد. نمونه ای از این نمودار در شکل ۵ داده شده است.

* ضریب توان - RPM:

این ضریب با k_Q نشان داده شده است و به صورت زیر تعریف می گردد:

$$k_Q = \frac{P}{2\pi\rho n^3 D_i^5} \quad (3)$$

که :

P - توان شفت
 ρ - دانسیته آب
 N - سرعت دورانی شافت
 D_i - قطر ایمپلر

این ضرایب برای هد ایمپلر مقدار ثابتی است.

برای بدست آوردن k_T مناسب با سرعت RPM باید پروسه زیر طی شود.

الف - محاسبه P و k_Q که مقادیر ثابتی هستند. ب - محاسبه C_P از روی P

ج - پیدا کردن C_T مناسب با C_P د - محاسبه T از روی C_T

ه - محاسبه k_T از روی T (با در نظر داشتن D_i)

۵- روشهای محاسبه نیروی رانش (Thrust) سیستم جت آب:

کنفرانسهای برگزار شده در زمینه سیستم جت آب با هدف فهم درست عوامل مؤثر در رفتار سیستم ادامه می یابد. در بیست و یکمین کنفرانس برگزار شده دو روش شار مومنتم و اندازه گیری مستقیم نیروی رانش به عنوان پیشنهاد برتر عنوان شده است. اطلاعات برداشت شده از مدل با ابعاد اصلی می تواند در جهت معتبر ساختن نتایج طراحی برای استفاده های بعدی سودمند واقع گردد. با بررسی مقالات ارائه شده به این کنفرانس ها می توان دریافت که توجه اخیر محققان بر روی روشهای عددی در جهت مدل سازی جریان های طبیعی معطوف شده است. لازم به ذکر است که اعتبار این روشها از مطابقت با نتایج آزمایش ناشی می گردد. روشهای مورد استفاده در دینامیک سیالات محاسباتی^۱ (CFD) هم اکنون بیشتر در جهت مدل سازی بخشهای خاصی از جریان مورد استفاده قرار می گیرد. [۲]، [۶]

^۱ Computational Fluid Dynamic

**۵-۱- تکنیکهای تجربی:**

دو روش عمده جهت اندازه گیری تجربی خواص رانش سیستم جت آب وجود دارد. [۴] روش معمول شار مومنتم است و روش پیشنهادی دیگر اندازه گیری مستقیم نیروی رانش می باشد.

مقالات زیادی بر روی شار مومنتم^۱ متمرکز گردیده است. این روش بر مبنای شار مومنتم و مقاومت مؤثر بدنه می باشد. این روش هنگامی مفید است که پس از مرحله طراحی مقدماتی^۲، مقاومت مؤثر بدنه در آزمایش تعیین شده باشد. رابطه بین نیروی رانش جت آب و مقاومت بدنه لخت^۳ معمولاً توسط مراجعی داده می شوند. البته این نکته باید در نظر گرفته شود که مقاومت بدنه مستقل از وجود سیستم رانش جت آب در آن نیست. برخی محققان نظیر [۱۹۹۵] Van Terwisga and Alexander توانستند روابط مستقلی را بین مقاومت بدنه و سیستم رانش بدست آورند.

همچنین در سال ۱۹۹۸ آزمایشهایی توسط Yamano انجام گرفته که در آنها نتایج بر اساس حرکات افقی و عمودی و دوران شناور بدست آمده است. در این آزمایش ها اثر این حرکات بر روی نسبت سرعت ورودی (IVR) بررسی شده اند. [۲]

در سال ۱۹۹۳ نیز Allison مطالعه ای بر روی محاسبه بازده کل سیستم داشته است. به این ترتیب بازده سیستم با رابطه زیر تعریف می گردد:

$$\eta_{oa} = \frac{P_E}{P_D} \quad (4)$$

که در آن P_E توان مؤثر بر اساس بدنه لخت است و P_D توان خروجی به سمت پمپ است. رابطه بدست آمده توسط Allison را در سال ۱۹۹۳، Alexander به اجزای کوچکتری تقسیم کرد. توان ذکر شده در رابطه فوق بر اساس تست خود کششی^۴ بدست می آید. [۲]

همچنین توسط Roberts در سال ۱۹۹۷ آزمایشات تجربی جهت مطالعه جریان ورودی و سطح ورودی جریان صورت گرفته است. لایه مرزی بوجود آمده در این منطقه بسیار حائز اهمیت است. [۲]

۵-۲- نتایج مدل با ابعاد اصلی:

یکی از روشهای انجام محاسبات و انتخاب سیستم جت آب مناسب، در دست داشتن نتایج مشابه و برون یابی و یا میان یابی بین آنهاست. این روش در سال ۱۹۹۸ توسط Svenson ارائه شده است. [۲]

او اطلاعات مدل اصلی در مورد محاسبه توزیع سرعت در لایه مرزی را در حرکت رو به جلو منتشر کرده است. در این تحقیق رابطه بین نیروی رانش خروجی T_s با مقاومت بدنه لخت حاصل از تست مقاومت مدل R_{bhs} مد نظر بوده است. این نسبت همبستگی به شکل کسری از نیروی رانش بیان می گردد.

$$t_{corr} = \frac{(T_s - R_{bhs})}{T_s} \quad (5)$$

^۱ Momentum flux

^۲ Preliminary design

^۳ Bare hull

^۴ Self propulsion test



۵-۳- طراحی مقدماتی و روشهای تخمین نیروی رانش:

مقالات ارائه شده جهت پیش بینی نیروی رانش و توان بر اساس نتایج تست مقاومت به عنوان ورودی بوده است. در سال ۱۹۹۷ توسط Van Terwisga یک روش تئوری جهت مطالعه اثرات متقابل و پیش بینی آنها ارائه داده است. شرایط کاویتاسیون نیز بر اساس معیارهای عمومی قابل اعمال است. همچنین Koushan در سال ۱۹۹۸ یک روش تئوری برای تخمین توان لازم جهت سیستم به صورت تئوری ارائه داده است. در این روش از نمودارها و روابط مربوط به پمپ ها استفاده شده است.

۵-۴- گسترش دینامیک سیالات محاسباتی در طراحی و تحلیل:

برخی مقالات انتشار یافته در سالهای اخیر بر روی استفاده از کدهای RANS و اعتبار آنها در تحلیل جریان در سیستم جت آب تمرکز یافته اند. این کدها در تحلیل جریان ورودی و همچنین کل سیستم توسط محققان زیادی به کار گرفته شده است. نتایج این تحقیقات نشان می دهد که روشهای CFD جهت مدل سازی محدوده سرعت، پیش بینی وقوع کاویتاسیون و اتفاق افتادن جدایی در جریان ورودی و همچنین محاسبه افت انرژی در سیستم کاربرد دارد. تحقیقات انجام گرفته توسط Kashiwadani در سال ۱۹۹۷ نشان می دهد که نتایج تحلیل جریان ورودی تطابق خوبی با واقعیت داشته است. همچنین کدهای لازم جهت تحلیل پمپ ها نیز توسط Allison مورد استفاده قرار گرفته است.

۶- نتیجه (انتخاب روش مناسب):

با توجه به بررسی های به عمل آمده می توان دریافت که طراحی یک سیستم جت آب بستگی به عوامل متعددی داشته که در بخشهای مختلف بررسی شده است. تاکنون تلاشهای فراوانی برای مدل سازی جریان سیال داخل سیستم انجام گرفته است. این مدل سازی با استفاده از روابط تحلیلی و همچنین حل عددی توابع حاکم است. اساس استفاده از چنین روشهایی میزان اعتباری است که از نتایج آزمایش کسب می کنند.

کنفرانسهای برگزار شده در مورد روشهای تست مدل و چگونگی استفاده از این نتایج دستورالعمل هایی را در این مورد منتشر کرده اند. این دستورالعمل ها شامل روش تست مدل، شرایط آزمایشگاه، فاکتورهای قابل اندازه گیری، اعتبار روشهای مختلف و چگونگی دریافت و استفاده از خروجی ها می باشد. [۲]

در برخی موارد برنامه های رایانه ای نوشته شده بر مبنای نتایج تست مدل و حتی تست نمونه اصلی می باشد. در این موارد برخی روابط تحلیلی با در نظر گرفتن پاره ای فرضیات و ساده سازی ها و ارتباط با پارامترهای اساسی بدست آمده است. در بدست آوردن این روابط گزارشهای منتشر شده از سوی کارخانجات سازنده سیستم جت آب نیز بسیار مؤثر بوده است. این گزارشها شامل هندسه سیستم، نوع پمپ، مشخصات پمپ و نازل خروجی و سایر موارد بوده است. این نتایج ممکن است در مواردی اغراق آمیز نیز باشد.

امروزه شرکتهای بزرگ سازنده سیستم های جت آب علاوه بر استفاده از روشهای معمول طراحی سیستم به روشهای عددی (CFD) روی آورده اند. این روش ها را نیز می توان در بهینه سازی قسمتهای خاص مورد استفاده قرار داد. همچنین کلیه نتایج حاصل از تست مدل نیز باید در شرایط خاص و مورد تأیید کنفرانسهای سیستم جت آب انجام پذیرد.

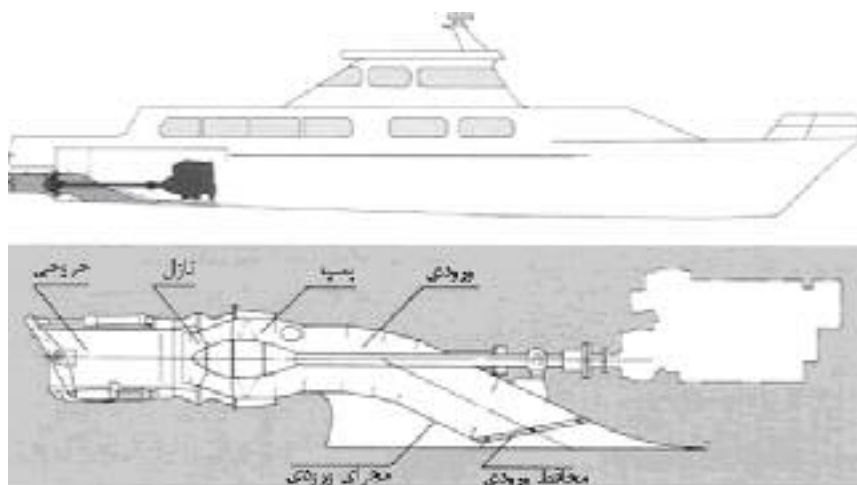
روش مورد نظر برای استفاده در این مطالعه بر اساس بررسی روشهای معمول و نتایج انتشار یافته از سوی مؤسسات سازنده می باشد. پارامترهای شناخته شده در بررسی سیستم که هم اکنون از سوی کلیه متخصصین مورد استفاده



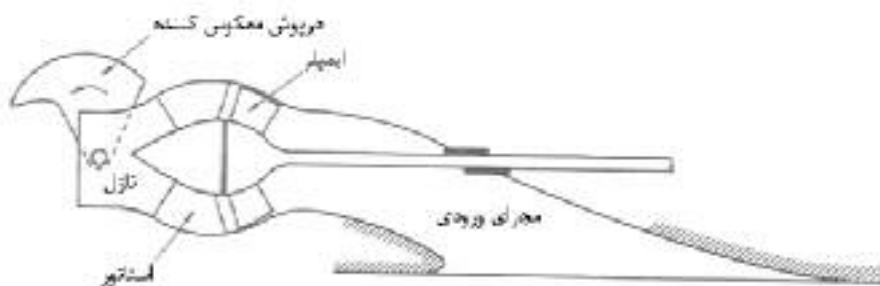
قرار می گیرد معرفی می گردد. بر اساس این روشها و پارامترها روشهای قابل برنامه نویسی ارائه می گردد که توسط آن می توان تحلیل اولیه همراه با تخمین مناسب مشخصات رانش داشت. این تحلیل ها در موارد خاص از نتایج حل عددی منطقه خاصی از جریان که توسط محققان مختلف منتشر شده است استفاده می کنند. این نتایج به صورت شرایط و معیارهای محدود کننده بر اساس نمودارها و جداول معتبر اعمال می گردند.

در مورد پمپهای مورد استفاده در سیستم جت آب نیز تحقیقات فراوانی انجام گرفته است. این تحقیقات منجر به تهیه نمودارها و جداول مختلف و برنامه های رایانه ای در جهت مدل سازی و تحلیل جریان در پمپ شده است. چنانچه با در دست داشتن مشخصات سیستم رانش و قابلیت های پمپ می توان پمپ مورد نظر را طراحی کرد. پارامترهای مورد نظر در این قسمت را می توان شامل دبی، ابعاد هندسی، دور بر دقیقه، هد پمپ و سایر موارد دانست. برنامه ای که تهیه می شود توانائی انتخاب پمپ را با در نظر داشتن نتایج سایر تحلیلهای مشابه و معیارهای مهم نظیر کابیناسیون را دارد. سپس الگوریتم اشاره شده در جدول ۲ طی می گردد تا سایر جزئیات نیز همانند پمپ طراحی شوند.

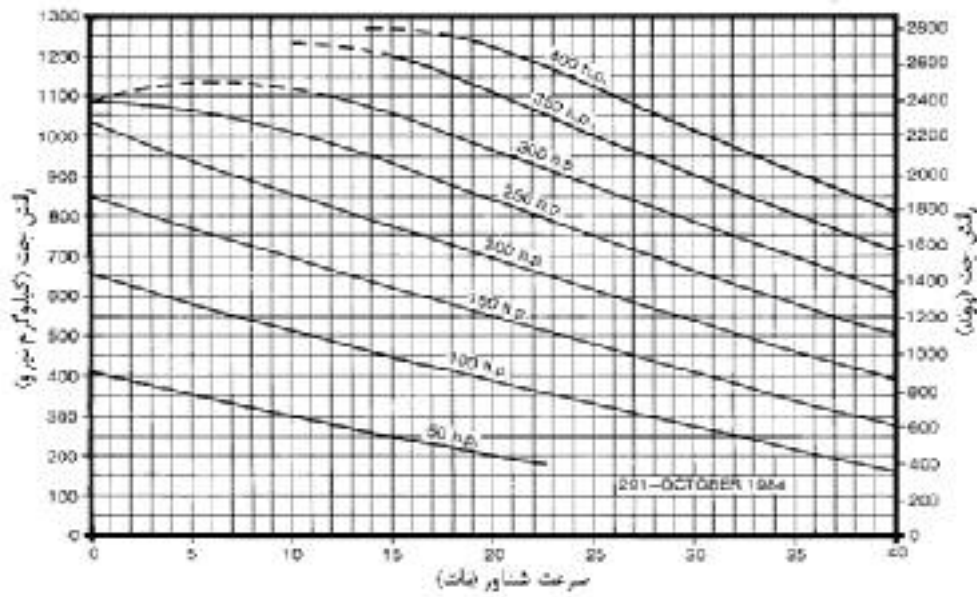
با توجه به اینکه نتایج تحلیل های عددی در حال طی مراحل اولیه کار هستند و تنها جهت مدل سازی بخش-های خاص مورد استفاده قرار می گیرند لذا از این روشها تنها در حد استفاده از نتایج تحلیل های معتبر در دسترس و برای بهینه سازی استفاده می گردد.



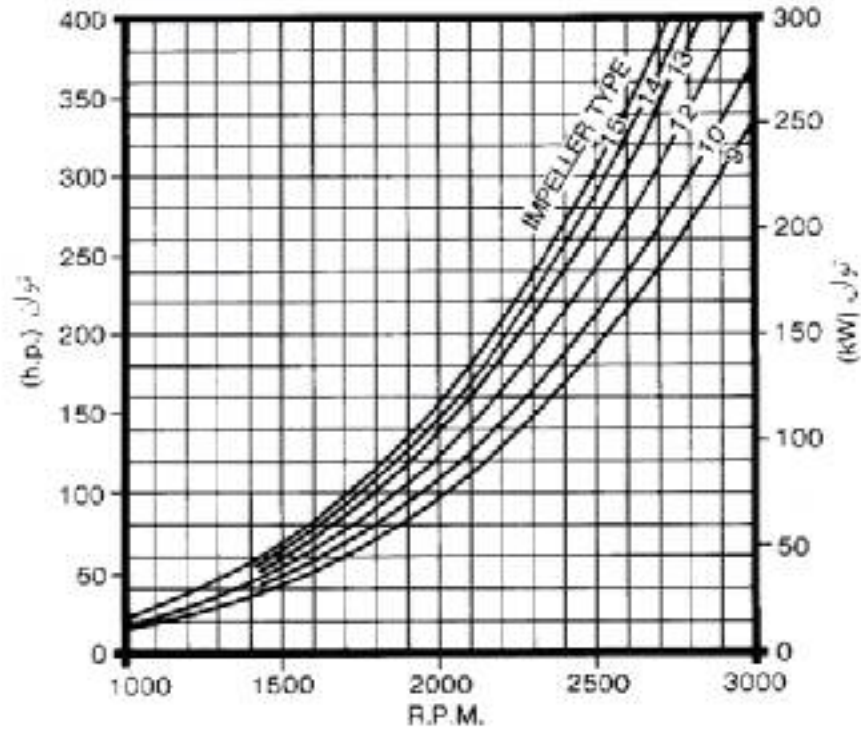
شکل (۱) جانمایی سیستم جت آب در یک شناور تندرو [۱]



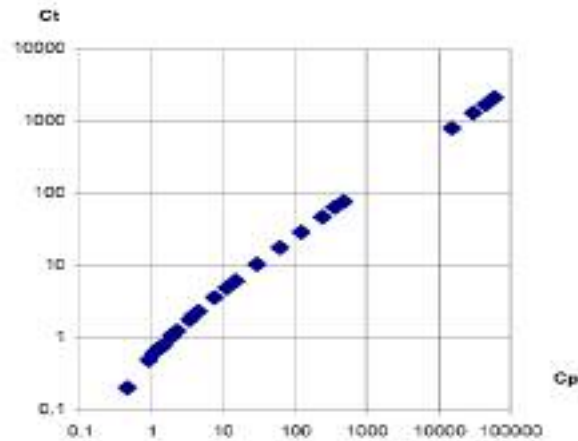
شکل (۲) اجزای اصلی سیستم جت آب [۱]



شکل ۳) منحنی رانش سیستم جت آب [۵]



شکل ۴) منحنی RPM سیستم جت آب [۵]



شکل ۵) ضرایب C_T و C_P [۵]

۷- منابع و مراجع:

- [۱]. Carlton.J.S. (John S.), "Marine Propeller and Propulsion", Oxford, Butterworth-Heinemann, ۱۹۹۴.
- [۲]. ITTC, "The Specialist Committee on Waterjets", ۲۲th ITTC, International Towing Tank Conference.
- [۳]. Dr ir T.J.C. van Terwisga, "A Parametric Propulsion Prediction Method For Waterjet Driven Craft", Fast'۹۷ Conference, Abstract No. ۱۵۱, ۱۹۹۷.
- [۴].H.H.Chun, B.H.Ahn, A.M.Cha, "Self-Propulsion Test and Analysis of an Amphibious Tracked Vehicle with Waterjet", Pusan National University, Fast'۹۷ Conference.
- [۵]. Donald M. MacPherson, "Selection of Commercial Waterjets: New Performance Coefficients Point The Way", SNAME New England Section, February ۲۰۰۰.
- [۶]. P.Hu and M. Zangeneh, "Analysis and Design of Marine Waterjets", (۱۹۹۷-۱۹۹۹)
- [۷]. C.W.F. Hamilton & Co., various product brochures.
- [۸]. ULTRAJET Co., various product brochures.