بکارگیری روش المان مرزی در طراحی سیستماتیک پروانه

دکترحسن قاسمی[1]

۱- استادیار و عضو هیات علمی دانشکده مهندسی کشتی سازی و صنایع دریایی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

چکیده

یکی از متداولترین انواع پیش برنده های دریایی نوع پروانه ای است که با ایجاد تراست لازم برای غلبه بر مقاومت سبب راندن کشتی می گردد . پروانه در محلی کار می کند که جریان ویک عقب کشتی دارای مولفه های سرعت محوری ، مماسی و شعاعی است و سبب توزیع فشار نوسانی و باعث تراست نوسانی می شود . تولید کمترین گشتاور ، بیشترین تراست لازم برای غلبه بر مقاومت و راندمان بالا و همچنین عدم وقوع کاویتاسیون از فاکتورهای مهم طراحی پروانه می باشد. قسمت اول این مقاله با استفاده از روش المان مرزی جهت بررسی عملکرد و تعیین مشخصات هیدرودینامیکی پروانه در شرایط جریان غیریکنواخت متمرکز است .

در قسمت دوم مقاله با داشتن مشخصات هیدرودینامیکی پروانه، روش سیستماتیک برای انتخاب بهینه پروانه استفاده شده است. انتخاب پروانه بر اساس معیارهای مهم و اصولی در طراحی پروانه انجام می شود. در این مقاله مشخصات هیدرودینامیکی سه پروانه مختلف برای کشتی (PV11) محاسبه شده و یک پروانه بهینه انتخاب شده است.

واژه های کلیدی: روش المان مرزی (BEM) ، مشخصات هیدودینامیکی، معیار کاویتاسیون

DESIGN OF SHIP PROPELLER BY THE SYSTEMATICAL ALGORITHM AND BOUNDARY ELEMENT METHOD

Abstract

Propeller is one of the main propulsors for marine vehicles which produces thrust to overcome the resistance of the ship. Propeller works in the place behind the ship where the flow is non-uniform and with three dimensional velocities, so it causes the fluctuating thrust. The first part of this paper employs the boundary element method (BEM) to evaluate and analyze the hydrodynamic performance of propeller in the behind of the ship.

After calculating the hydrodynamic characteristics of the propeller, the second part is the systematical method applied to determine and select the optimum propeller. Selection of the propeller depends on the design criteria which are minimum torque, high thrust, best efficiency and without (or with minimum) cavitation. In second part of the the paper, by those criteria and having the hydrodynamic characteristics of the propeller, three types of propeller have been calculated by the BEM and then one of the best the propellers have been matched for the PV11 ship.

Keywords: Boundary Element Method, Hydrodynamic Characteristics, Cavitation Criteria

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1383.1.1.3.3]

نمادهای اختصاری

رابطه تعریف شده در فلوچارت	$A = \frac{T}{\rho V a^2 D^2}$
نسبت سطح گسترش یافته	$A_E / A_0 = EAR$
طول کورد در هر شعاع	$C(r)$
نسبت کورد ماکزیمم به قطر	C_{Max} / D
قطر پروانه	D
ضریب تراست	K_t
ضریب گشتاور	K_q
ضریب پیشروی	J
پتانسیل کل	Φ
پتانسیل جزیی	ϕ
سرعت زاویه ای	ω
فشار هیدرواستاتیک شافت پروانه	P_0
فشار اشباع آب دریا	p_v
نسبت گام به قطر	P / D
گشتاور	Q
نسبت شعاع هاب به شعاع پروانه	r_h / R
نسبت شعاع به شعاع کل پروانه	r / R
شعاع پروانه	R
مقاومت کشتی	R_T
فاکتور کاهش تراست	t
سرعت کشتی	V_S
سرعت پیشروی	V_A
فاکتور ویک	w
تعداد پره	Z
فاصله بین نقطه کنترل p و نقطه سینگیولاریتی q	$R(p,q)$
بردار واحد عمود بر سطح پروانه	n_q
تعداد پره های پروانه	K
تعداد المانهای شعاعی پروانه	M
تعداد المانهای روی سطح ورتکس	N_W
مجموع المانهای روی سطح پروانه	N_{Tot}
ضرایب دابلت و چشمه برای المان j که روی نقطه کنترل المان i عمل می کنند	S_{ij}^K و W_{ij}^K, D_{ij}^K

نمادهای یونانی

پتانسیل کل	Φ
پتانسیل جزیی	ϕ
مشتق نرمال پتانسیل	$\frac{\partial \phi}{\partial n}$
اختلاف پتانسیل روی سطح ویک ورتکس دنباله ای هلیکال	$\Delta\phi(q)$
پتانسیل جریان ورودی	ϕ_I
سرعت زاویه ای	ω
دانسیته آب	ρ
راندمان پروانه	η

مقدمه

پروانه دریایی بطور معمول در ناحیه جریان مغشوش و غیـــریکنواخت پاشنه کشتی کار می کنند کـه به سبب جریان ویک ، فشار پریودیک و نوسانی ایجاد نموده و باعث ارتعاشات در پاشنه کشتی می شود که این شرایط نامطلوب بوده و باعث ناراحتی مسافران و خدمه می گردد.

میدان جریان ویـــک پاشنه کشتی بستگی زیادی بـــه شکـل بدنه دارد و بنـــابراین هـــر کشتـی دارای جـــریان ویک خاص خود می باشد. برای طراحان کشتی و متخصصـــان هیدرودینامیک، پیش بینی عملکرد پروانه های دریایی که در یک میدان جریان غیر یکنواخت کار می کنند بسیار مشکل بنظر می رسد. طراحی پروانه برای کشتی ها بسیار حائز اهمیت است چون یکی از فاکتورهای مهم برای رسیدن به سرعت طراحی مورد نظر برای کشتی است. معیارهای مهم در انتخاب پروانه تولید تراست مورد

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1383.1.1.3.3]

نیاز، بهترین راندمان، عدم و یاکمترین احتمال وقوع کاویتاسیون می باشند.

روش المان مرزی یک ابزار مناسب و قدرتمند برای تحلیل هیدرودینامیکی پروانه کشتی است و تا بحال محققان زیادی با استفاده از این روش نتایج ایده آل و قابل قبول بدست آورده اند [۱]، [۲] و [۶]. مولف مقاله نیز با استفاده از این روش یک کد کامپیوتری به نام SPD (Ship Propeller Design) تهیه نموده است که می تواند با در نظر گرفتن کلیه شرایط (جریانهای دائم یا غیر دائم، یکنواخت و غیریکنواخت) برای تحلیل هیدرودینامیکی پروانه کشتی های مختلف بکار گرفته شود[۱].

در روش المان مرزی اعمال شده برای پروانه که جزو سطوح بالابرنده محسوب می شود شرط مرزی کاتا بسیار مهم است. این شرط مرزی بیان می کند که اختلاف فشار در دو سطوح بالا و پایین و در لبه انتهایی پره باید برابر صفر باشد. با استفاده از این روش سطوح پروانه و ویک ورتکس دنباله ای (که برای پروانه به شکل هلیکال است) را به المان های هذلولوی تولید نموده و با در نظر گرفتن چشمه و دابلت در هر المان و حل سیستم معادلات مقدار پتانسیل و فشار بدست می آید. سپس نیروی تراست و گشتاور کل پروانه محاسبه می گردد.

در این مقاله با استفاده از روش المان مرزی (کد کامپیوتری) مشخصات هیدرودینامیکی سه نوع پروانه مختلف برای کشتی PV11 محاسبه شده و سپس با روش سیستماتیک و بر اساس معیارهای مهم طراحی ، پروانه بهینه برای کشتی مذکور انتخاب می شود. این مقاله در چهار بخش تقسیم شده است

$\vec{V}_W$: سرعت جریان ویک

$\vec{r}$: بردار موقعیت نقطه کنترل نسبت به مبدا O

$\vec{\omega}$: سرعت زاویه ای پروانه

سرعت جریان ورودی به پروانه بصورت زیر بیان می شود

$$\vec{V}_W(X,Y,Z) = V_S\left(1-\vec{w}(X,Y,Z)\right) \qquad (۴)$$

محاسبه ویک در پاشنه کشتی یک کار بسیار مشکل و پیچیده ای است که خارج از این روش المان مرزی است. لذا در این مقاله محاسبه فاکتور ویک برای دو پروانه ای (Twin-Propellers) از رابطه تجربی استفاده شده است [۱۰].

فرمول های ریاضی در بخش ۱ و بکارگیری روشهای عددی در بخش ۲ تشریح شده است و در بخش ۳ روش سیستماتیک، محاسبات و نتایج آن مورد ارزیابی قرار گرفته و در پایان به نتیجه مقاله اشاره شده است.

فرمول بندی ریاضی

بر اساس روش المان مرزی، پتانسیل سرعت کل $\Phi(X,Y,Z)$ و پتانسیل سرعت جزئی $\phi(X,Y,Z)$ بصورت زیر با هم مرتبط هستند:

$$\Phi(X,Y,Z) = \Phi_I(X,Y,Z) + \phi(X,Y,Z) \qquad (۱)$$

که در آن پتانسیل جریان ورودی $\Phi_I(X,Y,Z)$ بصورت زیر تعریف می گردد:

$$\Phi_I(X,Y,Z) = \vec{V}_I(X,Y,Z).\vec{X}_P \qquad (۲)$$

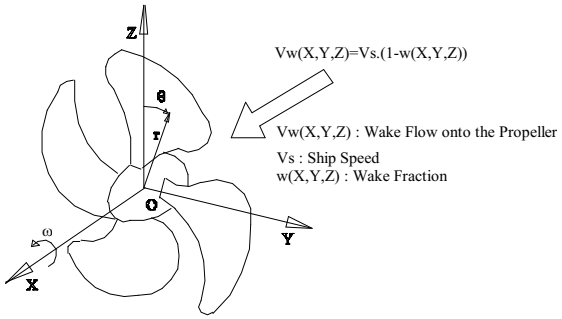
$\vec{V}_I$ برآیند سرعت جریان ورودی و $\vec{X}_P$ بردار موقعیت پروانه است.

فرض می کنیم پروانه با سرعت زاویه ای ثابت ω حول محور X در جهت منفی θ بچرخد. مولفه میدان سرعت غیر یکنواخت جلوی پروانه در سیستم مختصات دکارتی از رابطه زیر بدست می آید:

$$\vec{V}_I(X,Y,Z) = \vec{V}_W(X,Y,Z) + \vec{\omega}\times\vec{r}(X,Y,Z) \qquad (۳)$$

که در آن

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1383.1.1.3.3]



شکل ۱- مختصات دکارتی پروانه کشتی

فرمول اساسی

با استفاده از قضیه گرین، معادله انتگرالی پتانسیل سرعت $\phi(X,Y,Z)$ بر روی سطح پروانه و سطح ورتکس دنباله ای تابعی از سینگیولاریتی های چشمه و دابلت رابطه زیر بدست می آید [۱]:

$$2\pi\phi(p) = \int_{SB} \phi(q)\frac{\partial}{\partial n_q}\left(\frac{1}{R(p;q)}\right) - \int_{SB} \frac{\partial\phi(q)}{\partial n_q}\left(\frac{1}{R(p;q)}\right)dS + \int_{S_W} \Delta\phi(q)\frac{\partial}{\partial n_q}\left(\frac{1}{R(p;q)}\right)dS \qquad (۵)$$

شرایط مرزی

۱- شرط مرزی سینماتیکی روی سطح پروانه

۲- - شرط مرزی دینامیکی روی سطح ورتکس

۳- شرط مرزی کاتا

بیان ریاضی شرط مرزی کاتا به صورت زیر است:

$$\Delta P_{TE}(r) = P_{TE}{}^{B}(r) - P_{TE}{}^{F}(r) = 0 \qquad (۶)$$

اندیس B و F نشان دهنده پشت و جلوی پره است.

بکارگیری روشهای عددی

برای حل عددی معادله (۵)، سطوح پروانه و ویک ورتکس هلیکال پروانه را به المان بندی هذلولوی تولید می نماییم. جزجز نمودن (Discretize) معادله (۵) به یک سیستم معادلات جبری برای مجهول ϕ رابطه زیر منجر می شود:

(۷)

$$2\pi\phi_i = \sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{N_{tot}} D^k{}_{ij}(\phi_j{}^k) + \sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{M}\sum_{l=1}^{N_W} W^k{}_{ijl}(\Delta\phi_j{}^k) + \sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{N_{tot}} S^k{}_{ij}\left(\frac{\partial\phi}{\partial n}\right)^k{}_j, \quad i=1,2,...,N_{tot}$$

همه پارامترها در نمادهای اختصاری تعریف شدند.

با ارضا نمودن شرط کاتا و محاسبه پتانسیل نهایی می توان فشار را در المان تعیین نمود [۵] و سپس تراست و گشتاور کل پروانه بدست می آید.

المان بندی پروانه

برای به دست آوردن راه حل عددی، سطح پره های پروانه، هاب (Hub) و ویک دنباله ای را به المان های چهار وجهی هذلولوی کوچک تقسیم می شود. این المان بندی یکی از مهمترین قسمتهای این روش است.

المان بندی کردن پروانه به سه قسمت تقسیم می شود : ایجاد المان های پره، ایجاد المان های هاب و ایجاد المان های ویک. تولید المان و سطوح صاف (بدون اعوجاج) در روش المان مرزی بسیار مهم است و در نتایج محاسباتی تأثیر زیادی دارد. هرگونه المان بندی نامناسب روی سطح نتایج نامطلوب حاصل گردد . بنابراین نیاز است تا سطوح، صاف و هموار با میانیابی دقیق برای مختصات پروانه باشند.

هاب پروانه و محل تقاطع آن با پره های پروانه بسیار پیچیده تر است. سه قسمت برای المان بندی کردن هاب در نظر گرفته می شود:

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1383.1.1.3.3]

- قسمت پایین دست (جریان ویک ورتکس دنباله ای در قسمت پایین دست قرار دارد)
- قسمت پره
- قسمت بالادست (بدنه کشتی در قسمت بالا دست قرار دارد)

در پایین دست، هاب به شکل تقریبی بیضیگون می‌باشد. قسمت پره به چند استریپ که به طور مساوی در زاویه محیطی بین ریشه پره ها قرار گرفته‌اند تقسیم می شود. این کار، المان هایی با شکل مارپیچ روی هاب ایجاد می کند. در محل تقاطع، شبکه شامل تنها یک استریپ از المان هاست که با المان های مربوطه روی پره جور می شود.

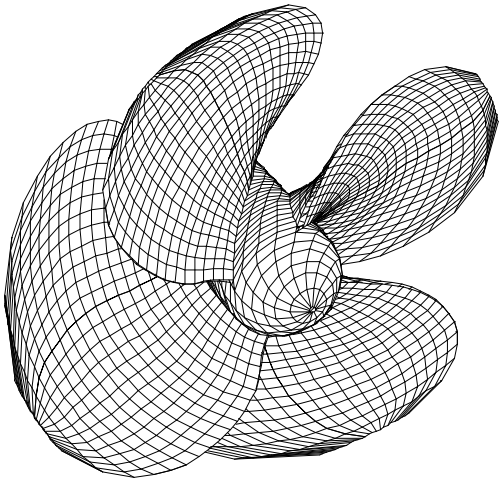
برای پروانه با تعداد پره K و تعداد تقسیمات المان در جهت شعاعی M و تعداد المان در جهت کورد N و مجموع کل سیستم معادلات برابر $(2N \times M \times K)$ می شود. سه نوع پروانه برای محاسبات در نظر گرفته شده است که ابعاد اصلی سه نوع پروانه برای کشتی PV11 در جدول (۱) نشان داده شده است. المان بندی پروانه MP1 و ویک دنباله ای بترتیب در شکل های (۲) و (۳) نشان داده شده اند. استفاده از این المان بندی برای تعیین عملکرد هیدرودینامیکی است و یک فرآیند پیش پردازش برای برنامه کد کامپیوتری محسوب می شود.

در شکل (۴) تغییرات شعاعی نسبت گام، زاویه ریک، زاویه اسکیو، طول کورد و ضخامت پره را برای پروانه MP1 نشان می دهد. زاویه گام در شعاع $r = 0.70R$ بیشترین مقدار را داراست در نوک هم کمترین مقدار را دارد. زاویه اسکیو ۱۵ درجه است. زاویه ریک هم ۵ درجه است.

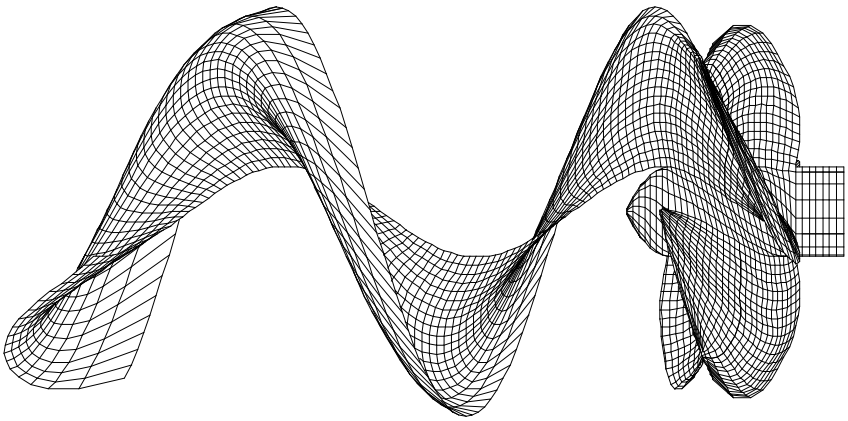
جدول (۱) ابعاد اصلی سه نوع پروانه برای کشتی PV11

نوع پروانه / پارامتر	MP1	MP2	MP3
قطر [mm]	2000	2200	2150
تعداد پره ها	4	4	4
نسبت گام(Pitch/Diameter) در r/R=0.70	1.20	1.180	1.00
نسبت سطح گسترش یافته	1.20	1.80	1.05
طول کورد در r/R=0.70 [mm]	1405	1330	1250
نسبت ضخامت ماکزیمم به قطر	0.045	0.045	0.045
زاویه اسکیو (درجه)	15	12	10
مقطع پروانه	Gawn-Modified	Gawn-Modified	Gawn-Modified

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1383.1.1.3.3]



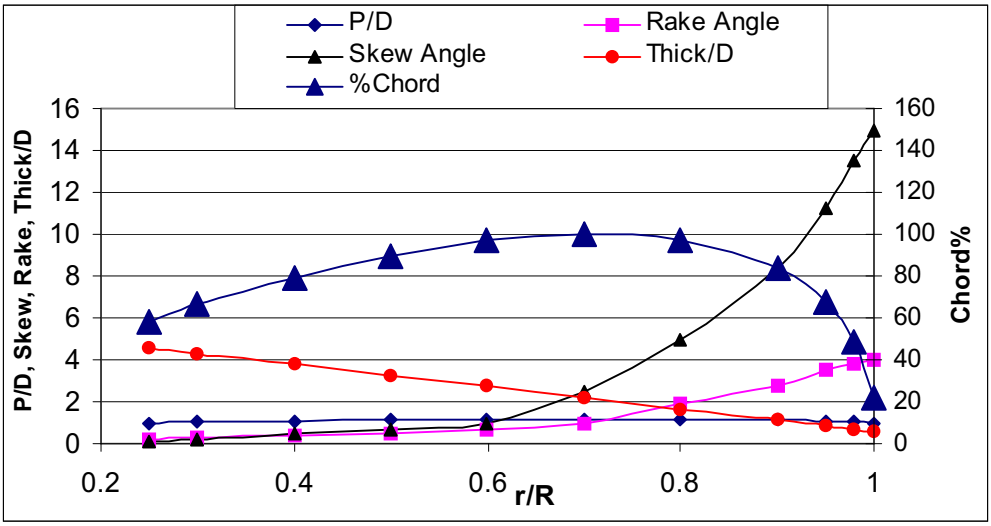
شکل ۲- المان بندی پروانه MP1



شکل ۳- المان بندی پروانه MP3 و جریان ویک دنباله ای

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1383.1.1.3.3]



شکل ۴- تغییرات شعاعی نسبت گام، زاویه ریک، زاویه اسکیو ، طول کورد و ضخامت پروانه MP1

جدول(۲) ابعاد کشتی PV11 دو پروانه ای

پارامتر	اندازه
طول (متر)	89.7
عرض (متر)	10.5
آبخور (متر)	3.45
ارتفاع (متر)	6.30
ضریب ظرافت (-)	0.55
شکل پاشنه	U-Shape

مشخصات کشتی دو پروانه ای

با داشتن شکل پاشنه و ابعاد کشتی PV11 ، مشخصات هیدرودینامیکی پروانه و ابعاد سه پروانه می توان پروانه مناسب را انتخاب نمود. با استفاده از روابط تجربی فاکتور ویک (w) و فاکتور کاهش تراست (t) ، سرعت جریان ورودی به پروانه (V_A) و نیروی تراست مورد نیاز کشتی (T) نیز بدست می آید [۱۰].

با توجه به اینکه کشتی PV11 دارای دو پروانه است لذا نیروی تراست که یک پروانه بایستی تولید کند نصف تراست کل می باشد.

$$V_A = V_S(1-w)$$
$$T = \frac{R_T}{2(1-t)} \qquad (۸)$$

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1383.1.1.3.3]

جدول(۳) داده های ورودی برای پروانه ها در سرعتهای مختلف

سرعت کروز و ماکزیمم (گره دریایی)	۱۶ (سرعت کروز)	۲۷	۲۷/۵	۲۸	۳۰
فاکتور ویک[-]	0.0506	0.0506	0.0506	0.0506	0.0506
فاکتور کاهش تراست[-]	0.0731	0.0731	0.0731	0.0731	0.0731
نیروی مقاومت کل کشتی [KN]	115.35	400.54	408.78	417.90	515.62
سرعت متوسط جریان ورودی [Knots]	15.190	25.633	26.108	26.583	28.482
نیروی تراست لازم یک پروانه [KN]	62.045	215.773	220.502	224.943	277.807

روش سیستماتیک و چگونگی محاسبات استفاده از مشخصات هیدرودینامیکی و تعیین عملکرد

روش سیستماتیک برای طراحی پروانه یک روش مناسب به جهت بدست آوردن انتخاب پروانه بهینه است. ضرایب هیدرودینامیکی پروانه $(K_t, K_q, \eta - J)$ مبین عملکرد هیدرودینامیکی پروانه است. حال اگر بخواهیم پروانه ای را برای کشتی طراحی و انتخاب نماییم آن پروانه بایستی بتواند در آن سرعت طراحی کشتی، تراست مورد نیاز کشتی را ایجاد نماید. با داشتن پارامترهای تراست « سرعت جریان ورودی و قطر پروانه می توان از رابطه (۹)، مقدار پارامتر (A) را بدست آورد که در آن ضریب A مشخص است.

$$K_t = \frac{T}{\rho n^2 D^4} = \frac{T}{\rho D^2 V_a^{\,2}} \frac{V_a^{\,2}}{n^2 D^2} = A.J^2 \qquad (۹)$$
$$\text{where : } A = \frac{T}{\rho D^2 V_a^{\,2}}$$

بدست می آید. (شکل ۶) . الگوریتم این روش در شکل (۵) نشان داده شده است. در همه محاسبات شرایط فیزیکی آب دریا (دانسیته، ویسکوزیته سینماتیکی و فشار بخار اشباع) بصورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$\rho = 1025[Kg/m^3]$$
$$v = 1.18\times10^{-6}[m^2/\sec]$$
$$P_v = 1500[Pa]$$

از روی منحنی شکل (۶) می خوانیم:

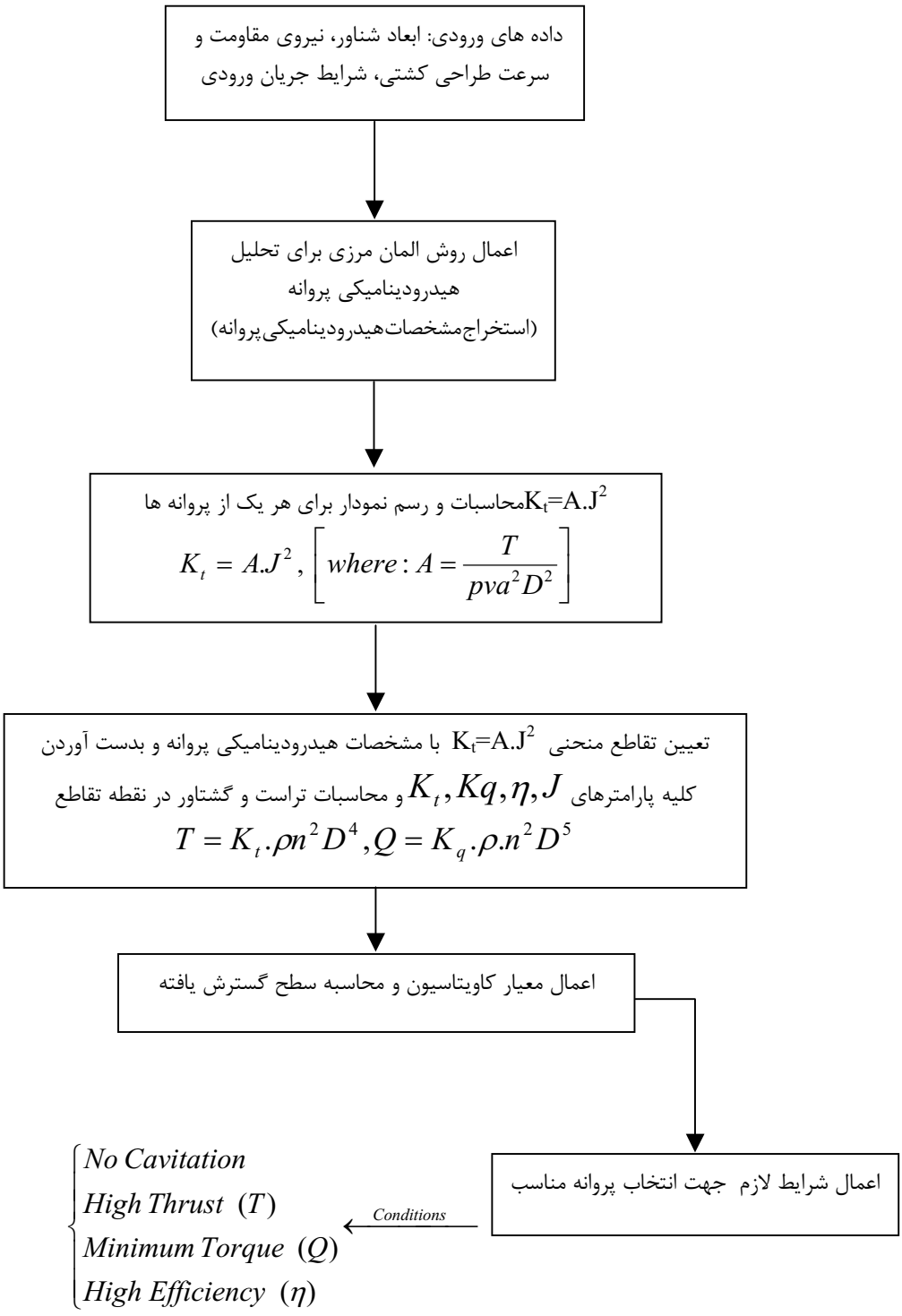
$$Kt = 0.1993 \Rightarrow J = 0.83[-]$$
$$Kq = 0.0425, \eta = 0.606$$

سپس سرعت دورانی، تراست و گشتاور پروانه بصورت زیر محاسبه می شوند.

$$n = \frac{V_a}{JD} = 478.255[RPM]$$
$$T = K_t.\rho n^2 D^4 = 216.999[KN]$$
$$Q = K_q.\rho n^2 D^5 = 93.937[KN-m]$$

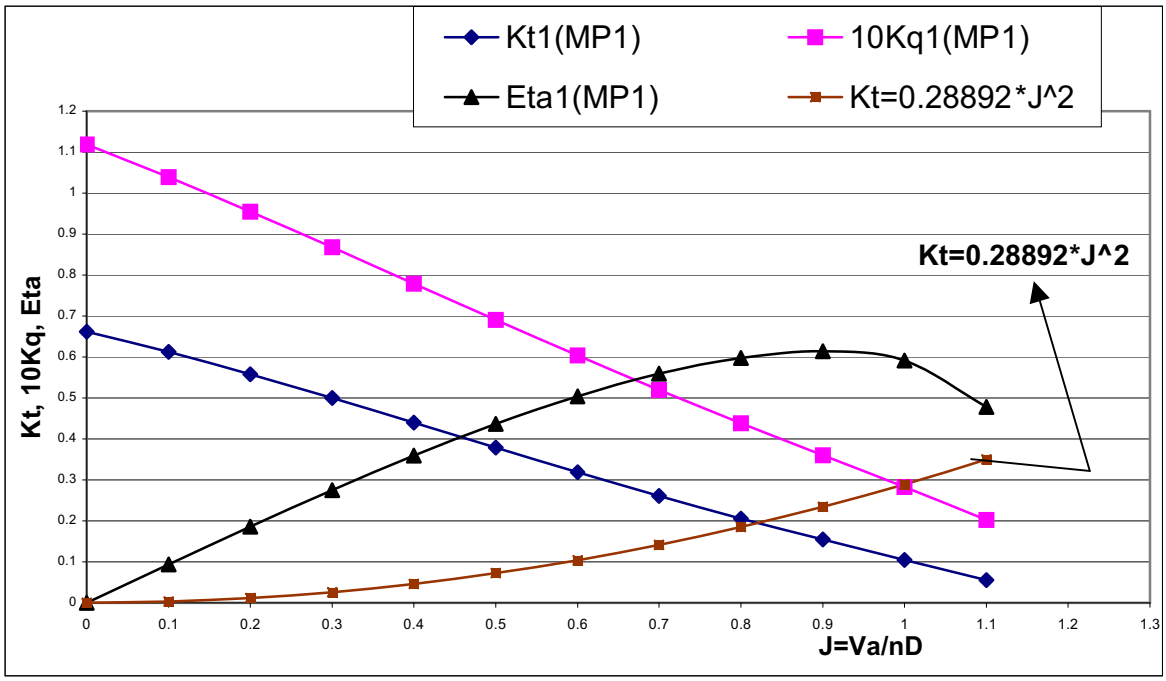
منحنی $K_t = A.J^2$ را روی مشخصات هیدرودینامیکی پروانه $(K_t - J)$ رسم می کنیم. تقاطع دو منحنی $K_t = A.J^2$ و $K_t - J$ نقطه بهینه را نشان می‌دهد. بنابراین در این نقطه کلیه پارامترهای ضرایب تراست و گشتاور ، راندمان و ضریب پیشروی از روی همین روش را برای پروانه های MP2 , MP3 بترتیب در شکلهای (۷) و (۸) انجام داده و نتایج در جدول (۴) نشان داده شده است. شکل (۹) نیز مشخصات هیدرودینامیکی هر سه پروانه بعلاوه منحنی های $K_t = A.J^2$ برای هر سه پروانه در سرعت ۲۷/۵ گره دریایی را نشان می دهد. جدول (۴) نشان می دهد که پروانه MP1 کمترین سرعت دورانی و گشتاور ، بالاترین راندمان و تراست را دارد.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1383.1.1.3.3]

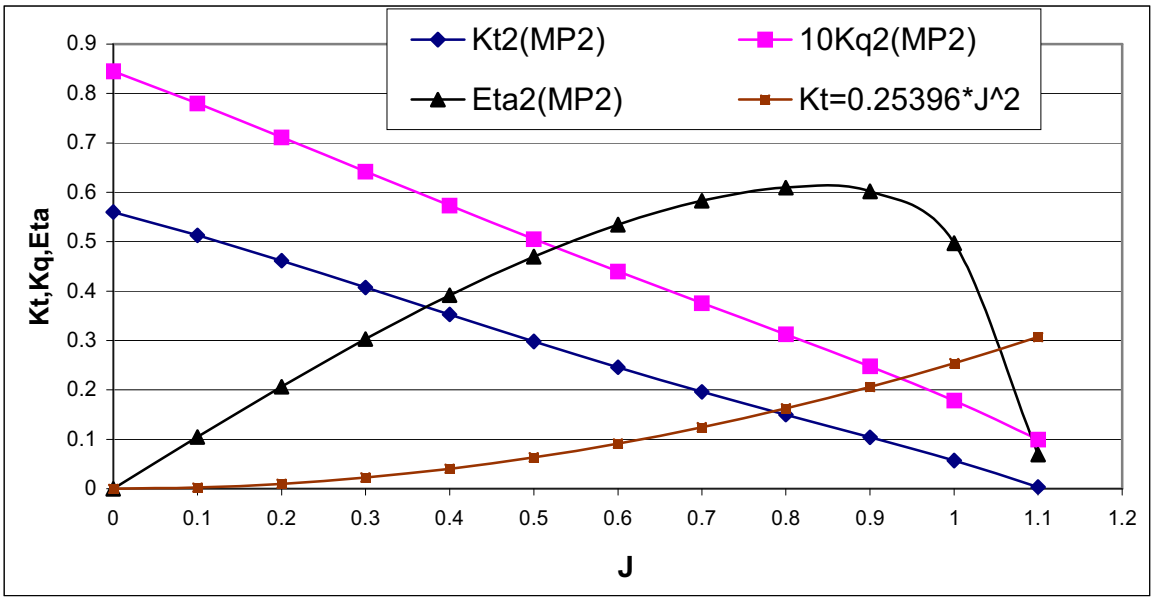


شکل ۵- الگوریتم محاسبات طراحی پروانه

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1383.1.1.3.3]

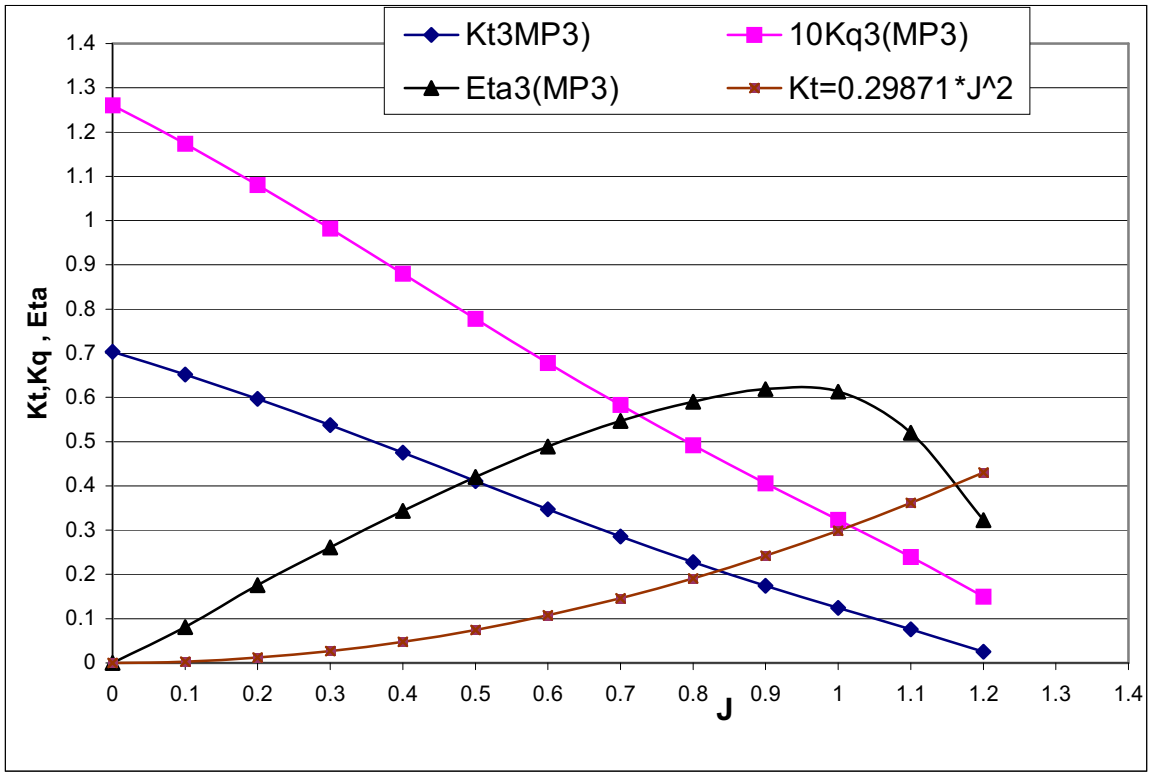


شکل ۶- نمایش تقاطع منحنی ها و تعیین ضرایب تراست ، گشتاور، راندمان و سرعت دورانی برای پروانه MP1 در سرعت ۲۷/۵ گره دریایی

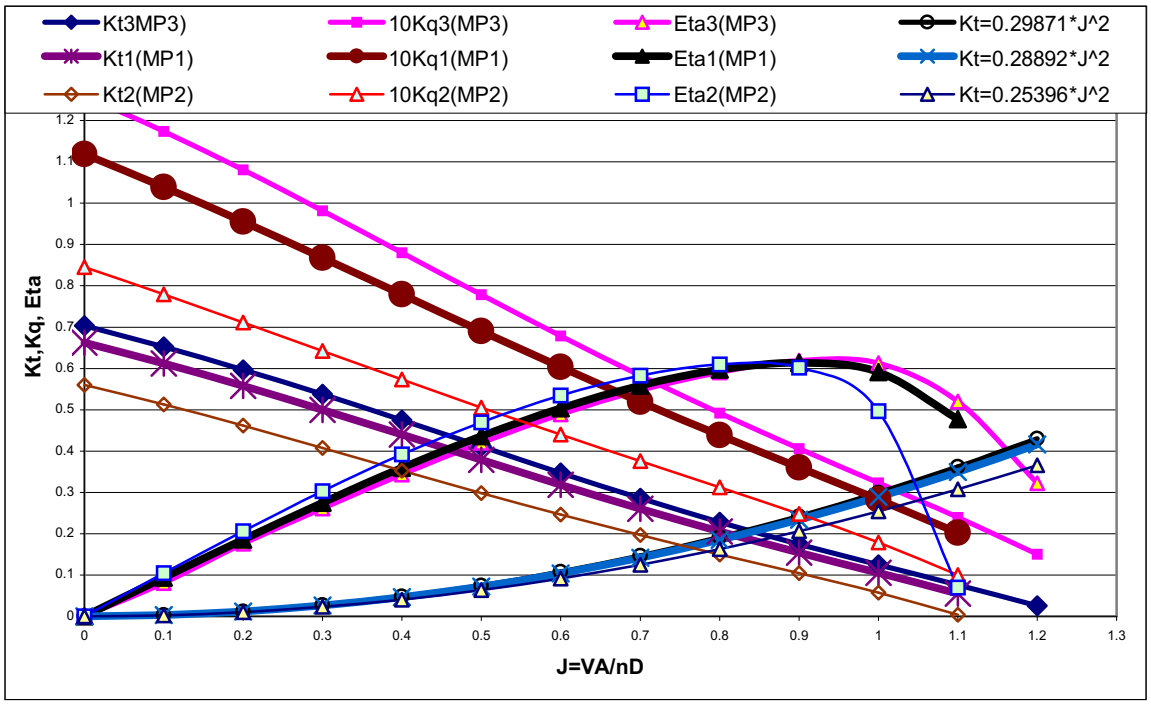


شکل ۷- مشخصات هیدرودینامیکی پروانه MP2 و منحنی $K_t = 0.25396.J^2$ در سرعت ۲۷/۵ گره دریایی

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1383.1.1.3.3]



شکل ۸- مشخصات هیدرودینامیکی پروانه **MP3** و منحنی $K_t = 0.29871.J^2$ در سرعت ۲۷/۵ گره دریایی



شکل ۹- مشخصات هیدرودینامیکی سه پروانه و منحنی های $K_t = A.J^2$ برای هر سه پروانه در سرعت ۲۷/۵ گره دریایی

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1383.1.1.3.3]

محاسبه سطح گسترش یافته (EAR) و مقایسه آن با مقدار مجاز

با افزایش EAR احتمال وقوع کاویتاسیون کمتر است ولی کاهش راندمان و افزایش گشتاور را سبب می شود. بعضی از روابط کاربردی در طراحی پروانه برای جلوگیری از کاویتاسیون وجود دارد که روابط بسیار مناسب Keller معرفی و استفاده می شود [۱۰].

(۱۰)

$$A_E / A_0 \geq \frac{(1.3+0.3Z)T}{D^2(P_0-P_v)} + k,$$

$$\text{where: } 0 < k < 0.20$$

قطر D ، تراست T ، نسبت گام P/D ، سرعت پیشروی V_A ، تعداد پره Z ، فشار بخار P_v ، فشار هیدرواستاتیک در محل شافت پروانه P_0 می باشند. k ضریبی است که به جریان ویک بستگی دارد برای کشتی مذکور k=0.1 می باشد.

محاسبات نشان داده شده در جدول (۵) بر مبنای معیار کلر است که در آن مقدار ثابت k=0.10 در نظر گرفته شده است. اگر مقدار ثابت k=0.05 فرض شود ممکن است پروانه MP1 تا سرعت بیشتر از ۲۹ نات نیز کار کند و پروانه MP3 تا سرعت ۲۸ نات کار کند. بنابراین، در این محاسبات تعیین سرعت ماکزیمم بر اساس وقوع کاویتاسیون و با استفاده از روابط مناسب تجربی صورت گرفته است. ولی چون مقایسه سه پروانه مورد نظر است پروانه MP1 نسبت به دو پروانه دیگر بهتر می باشد.

جدول (۴) محاسبه سرعت دورانی، تراست و گشتاور در سرعت ۲۷/۵ گره دریایی

نوع پروانه / پارامتر	MP2	MP1	MP3
سرعت دورانی [RPM]	479.650	478.255	480.508
تراست [KN]	216.902	216.999	216.036
گشتاور [KN-M]	96.422	93.937	99.662
راندمان	0.60	0.61	0.605

جدول (۵) محاسبه سطح گسترش یافته و مقایسه آن با مقدار مجاز

سرعت کشتی PV11 (گره دریایی)	MP2	MP1	MP3
معیار کلر(Keller)	$\frac{(1.3+0.3Z)T}{D^2(P_0-P_v)}+k$, Assumed: k = 0.10		
16	0.417	0.407	0.373
26	1.118	1.087	0.976
26.5	1.180	1.152	0.985
27	***EAR*** <1.213مجاز ***قابل قبول نیست***	***EAR*** <1.179مجاز ***قابل قبول است***	***EAR*** <1.058مجاز ***قابل قبول نیست***
27.5	***EAR***<1.235مجاز ***قابل قبول نیست***	***EAR*** =1.200مجاز ***قابل قبول است***	***EAR*** <1.077مجاز ***قابل قبول نیست***
28	1.257	1.222	1.096
30	1.4355	1.395	1.249

جدول (۶) مزایای پروانه MP1 نسبت به دو پروانه دیگر MP2 , MP3

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1383.1.1.3.3]

نوع پروانه معیار انتخاب	MP2	MP1	MP3
راندمان در سرعت پایینتر از ۲۰ گره دریایی			(۱-۰/۵)٪ بالاتر از دو پروانه دیگر است
راندمان در سرعت بالاتر از ۲۰ گره دریایی		(۱-۰/۵)٪ بالاتر از دو پروانه دیگر است	
تولید گشتاور		کمتر از دو پروانه دیگر است	
تولید تراست		زیادتر از دو پروانه دیگر است	
احتمال وقوع کاویتاسیون		کمتر از دو پروانه دیگر است	
قدرت موتور مورد نیاز		کمتر از دو پروانه دیگر است	
حداکثر سرعت برای کشتی (گره دریایی)	۲۶/۵-۲۸ چون بیشتر از آن کاویتاسیون اتفاق می افتد	۲۷/۵-۲۹ چون بیشتر از آن کاویتاسیون اتفاق می افتد	۲۶/۵-۲۸ چون بیشتر از آن کاویتاسیون اتفاق می افتد
انتخاب پروانه مناسب	-	+	-

چگونگی انتخاب پروانه

برای انتخاب پروانه مناسب و بهینه باید معیارهای زیر را در نظر گرفت:

- ایجاد تراست لازم برای غلبه بر درگ
- کمترین گشتاور را تولید نماید. بعبارتی، راندمان بالایی داشته باشد.
- هیچگونه یا مینیمم کاویتاسیون را داشته باشد

برای جلوگیری از کاویتاسیون بهتر است پروانه دارای سرعت دورانی کمتر ، نسبت سطح گسترش یافته بزرگتر و نسبت گام پایینتری داشته باشد. جدول (۶) مزایای پروانه MP1 نسبت به دو پروانه دیگر , MP3 MP2 را نشان می دهد.

نتیجه گیری

روش المان مرزی برای بررسی عملکرد هیدرودینامیکی پروانه اعمال شده است و سپس با استفاده از روش سیستماتیک طراحی و انتخاب پروانه نتایج زیر حاصل می گردد:

۱. روش المان مرزی برای محاسبه مشخصات هیدرودینامیکی از قابلیت مناسب بر خوردار است و می تواند برای هر پروانه دریایی تحلیل هیدرودینامیکی را انجام دهد.
۲. در سرعتهای بالاتر پروانه MP1 نسبت به دو پروانه دیگر عملکرد بهتری از خود نشان می دهد. پروانه MP1 می تواند در سرعتهای بالاتر پروانه MP1 نسبت به دو پروانه دیگر عملکرد بهتری از خود نشان می دهد. پروانه MP1 می تواند تا سرعت ۲۹ گره دریایی جوابگو باشد ولی دو پروانه دیگر MP2 و MP3 تا سرعت ۲۸ گره دریایی می تواند عمل نماید. بعبارتی ، در هنگام عملیات برای سرعتهای بالا و کوتاه مدت پروانه MP1 بهتر جواب می دهد و تا سرعت ۳۰ گره دریایی نیز ممکن است جواب دهد .

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1383.1.1.3.3]

مراجع

1- Ghassemi, H. 2003: "Hydrodynamic Characteristics of Marine Propeller in Steady and Unsteady Wake Flows", Journal of Science and Technology of AmirKabir, Vol14, No. 54-B.
2- Hoshino T. 1993: "Hydrodynamic Analysis of Propellers in Unsteady Flow Using a Surface Panel Method", Journal of Society of Naval Architects of Japan, 174, pp.79-92.
3- Streckwall H., 1998: "Hydrodynamic Analysis of Three Propellers Using a Surface Panel Method for Steady and Unsteady Inflow Conditions", 22nd ITTC Propulsion Committee, France.
4- Idris B.M., Marou H., and Ikehata M., 1984: "Theoretical Analysis of Unsteady Characteristics of Marine Propeller in Ship's Wake", Journal of Society of Naval Architects of Japan, Vol. 156, pp.60-68,.
5- Ghassemi, H. and Allievi, A. 1999: "A Computational Method for the Analysis of Fluid Flow and Hydrodynamic Performance of Conventional and Podded Propulsion Systems", Journal of Oceanic Engineering International, Vol. 3, No. 2.
6- Kinnas S.A. and Hsin C.Y., 1992: "Boundary Element Method for the Analysis of the Unsteady Flow around Extreme Propeller Geometry", Journal of AIAA, Vol. 30 (3), Journal.
7- Ghassemi, H. 2003: "Boundary Elemnt Method Applied to the Cavitating Hydrofoil and Marine Propeller", International Journal of Science and Technology, Iranica Scientia, Vol. 10(2).
8- Ghassemi H. Ikehata M. and Yamazaki H.,1995: "An Investigation of Wake Models and Its Effects on Hydrodynamic Performance of Propeller by Using of Surface Panel Method", Journal of Society of Naval Architects of Japan, Vol. 178.
9- Kinnas A.S. and Hsin C.Y., 1991: "A Potential Based Panel Method for Unsteady Flow Around Open and Ducted Propellers", Proceedings of 18th Symposium on Naval Hydrodynamics, Korea.
10- Breslin J.P. and Andersen P., 1994: "Hydrodynamics of Ship Propellers", Cambridge Ocean Technology Series 3.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1383.1.1.3.3]