مجله علوم وفنون دریایی، فصل نامه ی علمی پژوهشی

دوره ۲۲، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲، صفحات ۱ تا ۱۲

مقاله پژوهشی

Available Online: *http://jmst.kmsu.ac.ir*

تخمین توان کشتی‌های کانتینربر در مرحله طراحی اولیه با استفاده از روش رگرسیون خطی چندگانه

محسن شجاعی، مصطفی جعفرزاده خطیبانی*، اعتمادالدین رابعی غلامی

گروه مهندسی کشتی‌سازی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر ،خرمشهر، ایران.

* **نویسنده مسئول، پست الکترونیک:** m.jafarzadeh@kmsu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۰۱ **تاریخ بازنگری:** ۱۳۹۸/۱۰/۱۲ **تاریخ پذیرش:** ۱۳۹۸/۱۰/۲۱

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22113/JMST.2020.199000.2306

چکیده

تخمین توان مورد نیاز رانش یک شناور در طراحی اولیه از دو جنبه تخمین وزن ماشین‌آلات به عنوان تابعی از توان مورد نیاز و تخمین مقدار سوخت مورد نیاز و عامل تاثیرگذار در برآورد اولیه ظرفیت مخازن شناور حائز اهمیت می‌باشد. این تخمین می‌تواند از طریق روابط تجربی یا با استفاده از شناورهای مشابه موجود حاصل گردد. روابط تجربی موجود برای تخمین توان کشتی‌ها تنها محدود به چند رابطه عمومی بوده و برای شناورهای با کاربری خاص عموما دقت مناسبی ندارند. با توجه به استفاده روزافزون و قابل توجه از شناورهای کانتینربر در جابجایی کالا و جایگزینی این نوع شناور در بسیاری از شرکت‌های حمل و نقل دریایی بجای شناورهای تجاری دیگر، ارائه یک رابطه تجربی با دقت قابل قبول برای شناورهای کانتینربر می‌تواند کمک شایانی به طراحان در طراحی اولیه جهت تخمین توان و سوخت مورد نیاز کند. به همین منظور در این پژوهش با استفاده از داده‌های ۹۰ کشتی کانتینربر و روش رگرسیون خطی چندگانه، با در نظر گرفتن تاثیر پارامترهای اصلی شناورها بر مقدار توان مورد نیاز، روابط متعددی تهیه و مورد آنالیز آماری قرار گرفت که نهایتا رابطه مناسبی برای تخمین توان کشتی‌های کانتینربر استخراج گردید. بررسی صحت‌سنجی رابطه موجود برای کشتی‌های کانتینربر بیانگر دقت قابل قبول رابطه مذکور می‌باشد و می‌تواند به عنوان یک رابطه تجربی در تخمین توان کشتی‌های کانتینربر در محدوده ابعادی ذکر شده برای این رابطه، مورد استفاده عملی قرار گیرد.

کلمات کلیدی: رگرسیون خطی چندگانه، مرحله اولیه طراحی، تخمین توان، کشتی کانتینربر

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons. org/licenses/ by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

۱. مقدمه

در فرآیند طراحی مفهومی (Conceptual design) کشتی پس از آنالیز خواسته‌ها و الزامات مالک کشتی، برآورد اولیه ابعاد کشتی انجام پذیرفته و پس از آن تخمین وزن سبک کشتی، تخمین مقاومت شناور و توان مورد نیاز آن، طراحی پروانه، انتخاب موتور اصلی، تعیین ظرفیت مخازن، محاسبه فریبورد، تعیین اولیه فرم بدنه، طراحی اولیه جانمایی عمومی، طراحی سازه‌ای، تجهیزات سازه‌ای، برآورد هزینه ساخت و نهایتا تهیه مدارک فنی صورت می‌پذیرد که در چرخه طراحی فوق‌الذکر اصلاحات مکرر و طراحی اولیه مجدد ضروری و اجتناب ناپذیر می‌باشد.

در طی فرآیند طراحی اولیه، حصول مقدار دقیق توان مورد نیاز جهت رسیدن به سرعت مشخص شده طبق الزامات مالک، مد نظر نمی‌باشد؛ بلکه در فاز اولیه طراحی که نهایتا منجر به اولین تخمین از وزن کل کشتی، شامل وزن ماشین‌آلات، حجم تقریبی موتورخانه، و مقدار جابجایی شناور می‌باشد، تخمین اولیه توان، برای محاسبه وزن سیستم رانش و مقدار سوخت مورد نیاز کفایت می‌کند.

این تقریب می‌تواند از طریق روابط تجربی، کشتی‌های مشابه و یا دیاگرام‌های استخراج شده از آمار کشتی‌ها در ابعاد و انواع مختلف حاصل گردد (Papanikolaou, 2014).

یکی از روابط عمومی مورد استفاده در تخمین توان، رابطه آدمیرالتی (British Admiralty Formula) (رابطه ۱) می‌باشد. دراین رابطه Δ، V و P به ترتیب نشان دهنده‌ی جابه جایی(تن) ، سرعت (نات) و توان (کیلو وات) هستند.

ثابت آدمیرالتی C_N را می‌توان از داده‌های کشتی‌های مشابه بر اساس جابجایی، سرعت و توان آنها به دست آورد. در استفاده از این رابطه عملا فرض می‌شود که کشتی مشابه فرم بدنه یکسانی با کشتی در حال طراحی دارد و تغییرات عدد فرود و رینولدز آنها ناچیز می‌باشد. این رابطه را می‌توان برای توان ترمز موتور (P_B) ،توان شافت (P_S) توان تحویلی به پروانه یا توان موثر، بر اساس نوع داده در دسترس از شناور مشابه، به کار برد (Papanikolaou, 2014).

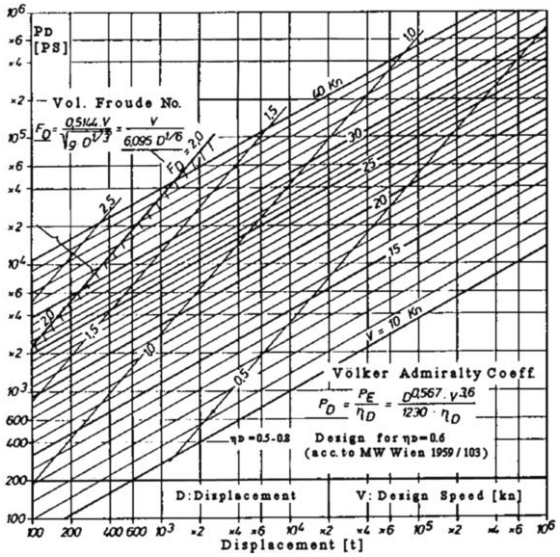
رابطه ولکر (Volker) (رابطه ۲) نیز برای تخمین توان همانند رابطه آدمیرالتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Schneekluth and Bertram, 1998). دراین رابطه Δ ، V و P به ترتیب نشان‌دهنده جابه‌جایی(تن)، سرعت (نات) و توان (کیلو وات) هستند.

رابطه دیگری که توسط Heickel et al. (2014) در رابطه ۳ برای ضریب آدمیرالتی ارائه شده است نیز می‌تواند برای تخمین توان مورد استفاده قرار گیرد (Papanikolaou 2002). در این رابطه ∇، V_Tو P_B به ترتیب نشان دهنده‌ی جابه‌جایی(مترمکعب)، سرعت (متر بر ثانیه) و توان موتور (کیلو وات) هستند.

$$C_N = \frac{\Delta^{2/3} V^3}{P}$$ رابطه (۱)

$$P_D = \frac{\Delta^{0.567} V^{3.6}}{1671 \cdot \eta_D} \cong \Delta^{0.567} V^{3.6} \cdot 10^{-3}$$ رابطه (۲)

$$K = (\sqrt{\nabla}/P_B)^{1/3} \cdot V_T$$ رابطه (۳)



شکل ۱- تخمین توان بر اساس جابجایی و عدد فرود حجمی (Papanikolaou, 2014)

Fig. 1- Power prediction based on displacement an volumetric Froude number (Papanikolaou, 2014)

روابط فوق‌الذکر وابستگی به نوع و کاربری شناور ندارند به عبارت دیگر با استفاده از این روابط توان تخمینی برای یک شناور کانتینربر و فله‌بر یا تانکر برابر خواهد که تقریب مناسبی برای توان نمی‌باشد. میزان خطای روابط فوق برای شناورهای مختلف نسبتا زیاد می‌باشد که در بخش نتایج مورد ارزیابی قرار گرفته است. در ادامه این پژوهش روش و رابطه‌ای برای تخمین توان کشتی‌های کانتینربر بر اساس آنالیز رگرسیون ارائه شده است.

روش رگرسیون توسط برخی از پژوهشگران نظیر Cassella و Krauss. (1983) و همچنین Yilmaz et al, (2001) در تعیین پایداری و تعادل کشتی‌های باربری مورد استفاده قرار گرفته است. Ghasemi و Jafarzadeh Khatibani (2004) از این روش برای برآورد منحنی‌های متقاطع تعادل و منحنی ممان بازگرداننده شناورهای باربری عمومی و ماهیگیری در مرحله اولیه طراحی استفاده کرده‌اند.

۲. مواد و روش‌ها

آنالیز رگرسیون یک روش آماری برای بررسی و مدلسازی رابطه بین متغیرهاست. این روش تقریبا در کلیه رشته‌های علوم از جمله مهندسی، فیزیک، اقتصاد، مدیریت، علوم زیستی، کشاورزی و علوم اجتماعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حقیقت آنالیز رگرسیون یکی از کاربردی‌ترین روش‌های آماری است و مدل‌های رگرسیونی برای چند منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند که مهمترین آنها عبارتند از:

_ توصیف داده‌ها

_ برآورد پارامترها

_ پیش بینی و برآورد

_ کنترل داده‌ها

یک مدل رگرسیون خطی چندگانه (Multiple linear regression) با k متغیر مستقل به صورت رابطه (۴) نمایش داده می شود، که به y متغیر وابسته یا واکنش، و به x متغیر مستقل یا برآوردکننده گفته می‌شود. βها ضرایب رگرسیون بوده و به ε باقیمانده گفته می‌شود. عبارت «خطی» نشان می‌دهد که ضرایب $\beta_0, \beta_1, \cdots, \beta_k$ در مدل خطی هستند و لزومی ندارد که y تابعی خطی از xها باشد.

فرضیات لازم برای این مدل عبارتند از:

۱) $E(\varepsilon_i) = 0 \quad (i = 1,2, \dots, n)$، و یا به طور هم‌ارز $E(y_i) = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \cdots + \beta_k x_{ik}$

این فرض بیان می‌دارد که تمام xها در مدل شرکت دارند و مدل خطی می‌باشد.

رابطه (۴)

۲) $var(\varepsilon_i) = \sigma^2 \quad (i = 1,2, \dots, n)$، و یا به طور معادل $var(y_i) = \sigma^2$. طبق این فرض واریانس y ثابت بوده و بنابراین مستقل از xها می‌باشد.

۳) $cov(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0 \quad (i \neq j)$ و یا به طور هم‌ارز $cov(y_i, y_j) = 0$. طبق این فرض yها همبستگی ندارند.

۴) فرض بر این است که هر واکنش مشاهده از توزیع نرمال برخوردار است.

با نوشتن رابطه (۴) برای n مشاهده به فرم ماتریسی رابطه (۵) به دست می‌آید.

از روش کمترین مربعات (Least square method) برای برآورد ضرایب رگرسیون استفاده می‌شود. برای پارامترهای $\beta_0, \beta_1, \cdots, \beta_k$ در واقع باید به دنبال برآوردکننده‌های $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \cdots, \hat{\beta}_k$ بود که مقدار $\sum(y_i - \hat{y}_i)^2$ را حداقل نماید. با حل معادلات نرمال، پارامترهای برآورد شده از روش کمترین مربعات عبارت خواهد بود از رابطه‌ی (۶)، مشروط بر آنکه $(X'X)^{-1}$ وجود داشته باشد. ماتریس $(X'X)$ در صورتی که متغیرهای مستقل دارای استقلال خطی باشند، یعنی اگر هیچ ستونی از ماتریس X ترکیبی خطی از سایر ستون‌ها نباشد، دارای معکوس است (رابطه ۷).

از آنجا که $(\hat{y}_i - \bar{y})$ انحراف مقدار برآورد مشاهده i از میانگین، و $(y_i - \hat{y}_i)$ انحراف مشاهده i از مقدار برآورد شده است، آنها را به ترتیب مجموع مربعات انحراف از رگرسیون SSE و مجموع مربعات ناشی از رگرسیون SSR (رابطه ۸) می‌نامند.

رابطه (۸) نشان می‌دهد که از تنوع موجود در yها در اطراف میانگین(SST) یا $\sum_i(y_i - \bar{y})^2$ ، مقداری را می‌توان به خط(یا صفحه) رگرسیون (SSR) یا $\sum_i(\hat{y}_i - \bar{y})^2$ نسبت داد و مانده (SSE) یا $\sum_i(y_i - \hat{y}_i)^2$، ناشی از این است که مشاهدات حقیقی همگی روی خط(یا صفحه) رگرسیون واقع نیستند.

چون در مدل $k+1$ پارامتر برآورد می‌شوند، مجموع مربعات مانده‌ها دارای $n-k-1$ درجه آزادی است.

نتایج محاسبات در جدول تجزیه واریانس خلاصه می‌شوند. از آزمون معناداری رگرسیون برای تعیین وجود یا عدم وجود رابطه خطی بین y و متغیرهای مستقل می‌باشد. فرض‌های مورد نظر عبارتند از رابطه (۹) است. رد شدن فرض صفر بدین معنی است که حداقل یکی از متغیرهای $x_1, x_2, \dots, x_k$ مشارکت معنی‌داری در مدل دارد. برای این آزمون، کمیت رابطه (۱۰) در جدول ۱ محاسبه می‌شود و اگر $F_C > F_{\alpha,k,n-k-1}$ باشد، فرض H_0 رد می‌شود. مقدار $F_{\alpha,k,n-k-1}$ از جداول احتمال بدست می‌آید. (α سطح احتمال بوده و $100(1-\alpha)$ درصد، دامنه اطمینان برای β_j می‌باشد.)

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

فرم ماتریسی رابطه (۵)

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix}$$

رابطه (۵)
$$y = X\beta + \varepsilon$$

رابطه (۶)
$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'y$$

رابطه (۷)
$$\hat{\varepsilon} = y - X\hat{\beta} = y - \hat{y}$$

رابطه (۸)
$$SST = SSR + SSE$$

رابطه (۹)
$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \cdots = \beta_k = 0$$
$$H_1: \beta_j \neq 0$$

رابطه (۱۰)
$$F_C = \frac{SSR/k}{SSE/(n-k-1)}$$

رابطه (۱۱)
$$H_0: \beta_j = 0 \quad , \quad H_1: \beta_j \neq 0$$

رابطه (۱۲)
$$t_C = \frac{\hat{\beta}_j}{s/\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}} = \frac{\hat{\beta}_j}{S.E.(\hat{\beta}_j)} = \frac{\hat{\beta}_j}{s\sqrt{g_{jj}}}$$

رابطه (۱۳)
$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

رابطه (۱۴)
$$R_a^2 = 1 - \frac{SSE/(n-p)}{SSR/(n-1)} = 1 - \frac{n-1}{n-p}(1 - R^2)$$

جدول ۱- آنالیز واریانس برای آزمون معنی‌دار بودن رگرسیون
Table 1- Analysis of variance for regression test.

منبع تغییر	درجه آزادی d.f.	مجموع مربعات	میانگین مربعات MS	F_C
رگرسیون	K	SSR	MSR=SSR/K	MSR/MSE
مانده‌ها	n-k-1	SSE	MSE=SSE/(n-k-1)	–
کل	n-1	SST	–	–

در اکثر موارد آزمون هر یک از ضرایب رگرسیون ضروری می‌باشد. آزمون انفرادی ضرایب رگرسیون در تعیین ارزش هر یک از متغیرهای مستقل در مدل کمک می‌کنند. برای مثال مدل ممکن است با گنجاندن متغیرهای مستقل بیشتر یا حذف یک یا چند متغیر از مؤثرتر شود.

افزودن یک متغیر به مدل رگرسیون همیشه مجموع مربعات رگرسیون را افزایش و مجموع مربعات مانده‌ها را کاهش می‌دهد. بنابراین باید تصمیم گرفت که آیا این افزایش در مجموع مربعات رگرسیون، استفاده از این متغیر مستقل اضافی را در مدل مجاز می‌گرداند. همچنین افزودن یک متغیر مستقل واریانس $\hat{y}$ را افزایش می‌دهد. بنابراین می‌باید در گنجاندن متغیرهایی که در توجیه متغیر وابسته واقعا با ارزش هستند، دقت گردد. علاوه بر این افزودن یک متغیر مستقل ممکن است میانگین مربعات مانده‌ها را افزایش دهد و موجب کاهش سودمندی مدل گردد.

فرض‌هایی که برای آزمون معنی‌دار بودن یک ضریب رگرسیون مانند β_j به کار می‌روند عبارت از رابطه (۱۱) هستند.

اگر $H_0: \beta_j = 0$ رد نشود، دلیلی بر این است که متغیر x_i را می‌توان از مدل حذف کرد. آماره آزمون برای این فرض عبارت از رابطه (۱۲) است.

که دارای توزیع t با $n - p$ درجه آزادی است (p تعداد متغیر موجود در مدل است). s^2 برآوردی از واریانس خطا بوده و از جدول۱

به دست می‌آید. $S.E.(\hat{\beta}_j)$ خطای استاندارد (Standard error)می‌باشد. g_{jj} عنصر قطری ماتریس $(X'X)^{-1}$ متناظر با هر $\hat{\beta}_j$ می‌باشد. اگر $|t_C| > t_{\frac{\alpha}{2},n-k-1}$ باشد، فرض صفر رد می‌شود. بدین ترتیب، این آزمون بررسی سهم x_i وقتی دیگر متغیرها در مدل وجود داشته باشند را مورد بررسی قرار می‌دهد.

ارزیابی صحت مدل بخش مهمی از تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه است. یکی از معیارهای مهمی که برای تعیین صحت و درستی مدل مورد بررسی قرار می‌گیرند ضریب تبیین می‌باشد. که به صورت رابطه (۱۳) تعریف می‌گردد.

استفاده از R^2 به عنوان معیاری برای توجیه تنوع y در اثر متغیرهای مستقل مرسوم است. مقدار R^2 بین صفر و یک متغیر است. افزودن یک متغیر به مدل همیشه R^2 را صرفنظر از این که این متغیر اضافه شده در مدل مشارکت داشته باشد یا خیر، افزایش خواهد داد. اما مقدار بزرگ R^2 الزاما به معنی مناسب بودن مدل رگرسیون نمی‌باشد. بنابراین ممکن است مدل‌های دارای مقادیر بزرگ R^2 برای پیش‌بینی ضعیف باشند.

برخی از متخصصین آمار استفاده از آماره R^2 تصحیح شده (Adjusted R^2) را ترجیح می‌دهند. زیرا R^2 همیشه با اضافه شدن یک متغیر جدید به مدل رگرسیون افزایش می‌یابد، یا حداقل کاهش نمی‌یابد. R^2 تصحیح شده یا R_a^2 (رابطه ۱۴)، با جایگزین کردن SSE و SSR با میانگین‌های مربعات متناظر آنها در رابطه (۱۳) به‌دست می‌آید. تفاوت زیاد این دو آماره بدین معنی است که جمله یا جملاتی که مشارکت پر معنایی در برازش ندارند، در مدل گنجانده شده‌اند (Veritas, 2017).

مشخصات مربوط به ۹۰ شناور کانتینربر برای مدل‌سازی رگرسیونی مورد استفاده قرار گرفته است. هفت پارامتر اصلی شناورها و محدوده آنها در جدول ۲ آمده است.

نحوه گزینش متغیرها بستگی به نوع کاربرد رابطه رگرسیونی دارد و در بسیاری از موارد، مجموعه متغیرهایی که باید در مدل رگرسیون گنجانده شوند از پیش تعیین شده نیستند و غالبا بخش اولیه تجزیه و تحلیل شامل انتخاب این متغیرها می‌باشد. در پاره‌ای از موارد انتخاب متغیرهای مستقل برای ورود به مدل بر مبنای ملاحظات تئوری و یا اصول خاصی است، درچنین مواقعی مساله گزینش متغیرها مطرح نیست. اما در مواقعی که نظریه واضحی موجود نیست گزینش متغیرها برای مدل رگرسیون موضوع مهمی خواهد بود.

جدول ۲ - محدوده داده‌های پارامترهای شناورها

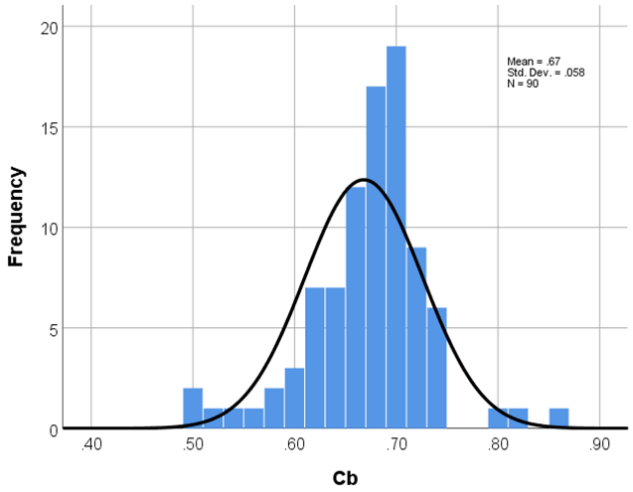
Table 2- Range of vessels' particulars.

پارامتر	حداقل	حداکثر	واریانس	انحراف معیار
ضریب بلوکی (C_B)	0.5	0.85	0.003	0.05806
سرعت (نات) V_S	14	26	5.28	2.2978
آبخور (متر) T	6.97	13.53	2.288	1.51275
عرض (متر) B	17.2	37.3	14.81	3.8483
طول بین دو عمود (متر)LBP	140.3	250	849.87	29.15.26
وزن مرده (تن) DWT	10600	57830	143307619	11.971
جابجایی (تن)Δ	15132	79260	264471446	16262

از آنجایی که برای تخمین توان اصول خاصی جهت انتخاب متغیرهای مستقل موجود نیست؛ بنابراین با توجه به این مطلب که بحث تخمین توان کشتی در مرحله اولیه طراحی مدنظر می‌باشد و نیز پارامترهای فوق در مرحله مقدماتی طراحی تعیین می‌گردند. لذا از این پارامترها به عنوان متغیرهای مستقل مدل استفاده شده است. گام بعدی تعیین فرم مناسبی از پارامترهای فوق می‌باشد که باید در مدل منظور گردند. پس از ایجاد مدل، بررسی صحت مدل و لزوم وجود و میزان مشارکت متغیرها در مدل باید مورد بررسی قرار گیرد.

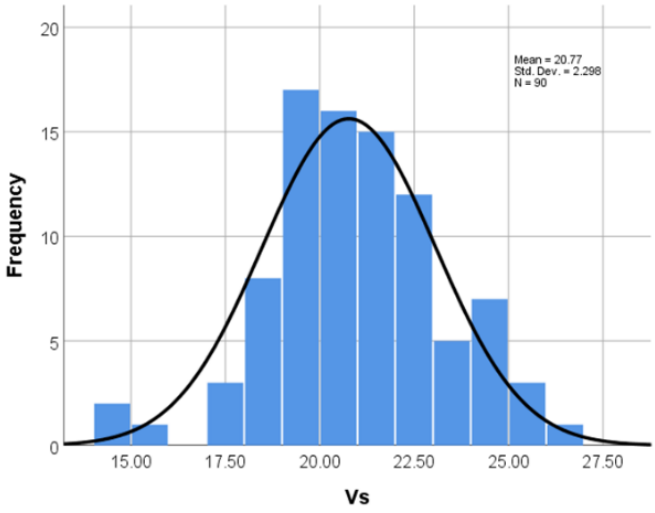
پس از تولید و بررسی مدل‌های مختلف از ترکیب هفت پارامتر جدول۲، نهایتا چهار پارامتر که استقلال بیشتری نسبت به یکدیگر داشته و به عبارتی همبستگی کمتری دارند برای مدل اصلی انتخاب گردیدند که عبارتند از طول بین دو عمود (LBP)، ضریب بلوکی (C_B) ، وزن مرده (DWT) و سرعت شناور (V_S) و فرم کلی مدل برای تخمین توان به صورت رابطه (۱۵) در نظر گرفته شده است. نمودار توزیع هر یک از متغیرها در شکل‌های ۲ الی ۵ آمده است.

$$P = \beta_0 + (\beta_1 \times V_S) + (\beta_2 \times DWT) + (\beta_3 \times C_B) + (\beta_4 \times LBP)$$ رابطه (۱۵)



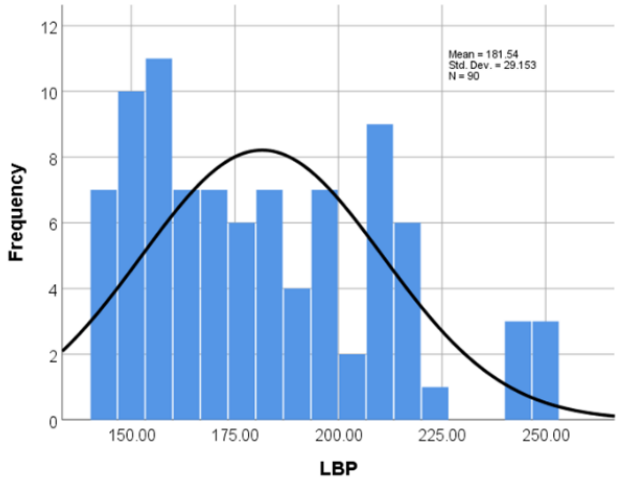
شکل ۲- نمودار توزیع ضریب بلوکی

Fig. 2- Block coefficient distribution diagram.



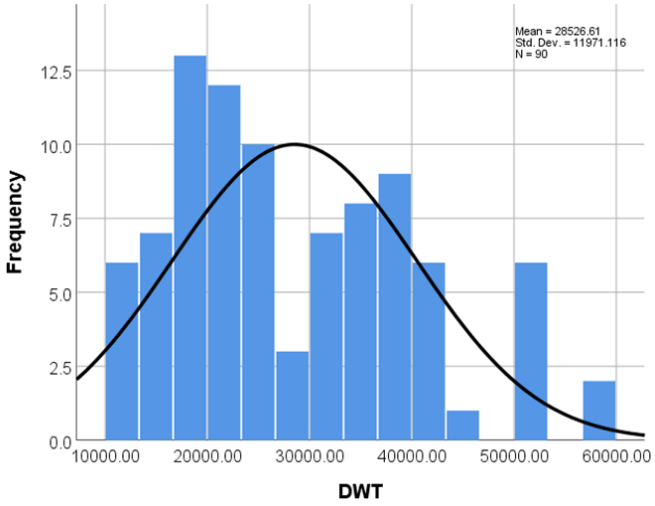
شکل ۳ . نمودار توزیع سرعت

Fig. 3- Speed distribution diagram.



شکل ٤. نمودار توزیع طول بین دو عمود شناور

Fig. 4- Length between perpendicular distribution diagram.



شکل ٥ – نمودار توزیع وزن مرده

Fig. 5- Deadweight distribution diagram.

۳. نتایج

از حل معادله (۱۵) برای ۹۰ شناور مورد بررسی، رابطه (۱۶) حاصل می‌شود. در این رابطه V_s، DWT، C_B، LBP و P به ترتیب نشان دهنده‌ی سرعت (گره دریایی)، وزن مرده (تن)، ضریب بلوکی، طول بین عمود (متر) و توان (کیلو وات) هستند. آنالیز واریانس و آماره‌های رگرسیون برای مدل مذکور به ترتیب مطابق جداول ۳ و ۴ محاسبه می‌شود.

به منظور بررسی آزمون معنی‌دار بودن که برای تعیین وجود یا عدم وجود رابطه خطی بین y و متغیرهای مستقل می‌باشد، مقدار $F_{\alpha,k,n-k-1}$ را که در آن $\alpha = ۰/۰۵$، $n = ۹۰$ و $k = ۴$ از جداول احتمال به دست می‌آید (رابطه ۱۷).

که در مقایسه با مقدار به دست آمده از جدول۳ مشاهده می‌گردد که $F_c > F_{./۰۵,۴,۸۵}$. بنابراین فرض صفر رد می‌گردد (رابطه ۱۸) و بدین معنی است که حداقل یکی از متغیرهای B, D, T, C_B و Δ مشارکت معنی‌داری در مدل دارد.

برای بررسی آزمون انفرادی ضرایب رگرسیون از آماره t استفاده شده است. مقادیر t برای هر ضریب رگرسیون در جدول ۵ نشان داده شده است که از رابطه (۱۰) به دست آمده‌اند. اگر شرط $|t_C| > t_{\frac{\alpha}{2},n-k-1}$ برقرار باشد فرض صفر رد می‌شود و می‌توان اظهار داشت که گنجاندن متغیر مستقل مورد نظر در مدل، در توجیه متغیر وابسته با ارزش می‌باشد. مقدار $t_{\frac{\alpha}{2},n-k-1}$ از جداول احتمال بدست می‌آید (رابطه ۱۹).

با توجه به نتایج آزمون t مشخص می‌گردد که تمام متغیرهای مستقل مدل مشارکت معنی‌داری در تخمین توان دارند و وجود آنها در مدل موجه می‌باشد. همچنین همانطور که در جدول۴ مشاهده می‌گردد؛ تفاوت ناچیز دو آماره R^2, R_a^2 بیانگر مشارکت معنی‌دار پارامترهای مدل می‌باشد.

در روش تجزیه کمترین مربعات، عدول کوچک از فرض‌های زیر بنایی، استنتاجها یا نتیجه‌گیریها را غیر معتبر نمی‌سازد. اما انحرافهای بزرگ از فرضهای مدل به شدت نتایج را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تحلیل مانده‌ها روشی ساده و موثر برای روشن کردن کاستی‌های مدل در آنالیز رگرسیون می‌باشد. نمودار پراکنش مانده‌های استاندارد شده در برابر مقادیر برآورد شده توان برای رابطه (۱۶) در نمودار شکل ۶ نشان داده شده است.

جدول ۳- آنالیز واریانس برای مدل رابطه ۱۵
Table 3- Analysis of variance for equation 13

منبع تغییر	درجه آزادی d.f.	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS	F_C
رگرسیون	۴	4454025860	1113506465	132.2
مانده‌ها	۸۵	715788490	8421041.059	
کل	۸۹	5169814350		

جدول ٤- آماره‌های رگرسیون برای مدل رابطه۱۵
Table 4- Regression statistics for equation 15

ضریب تبیین R^2	0.861544643
ضریب تبیین تصحیح شده R_a^2	0.855029097
خطای استاندارد $S.E.(\hat{\beta}_j)$	2901.903
تعداد	90

$$P = 2971.9 + (438.161 \times V_S) + (0.44363 \times DWT) + (-19181.86 \times C_B) + (35.314 \times LBP) \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

$$F_{۰/۰۵,۴,۸۵} = ۲/۴۹ \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \cdots = \beta_k = 0 \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$t_{۰/۰۲۵,۸۵} = ۱/۹۹ \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

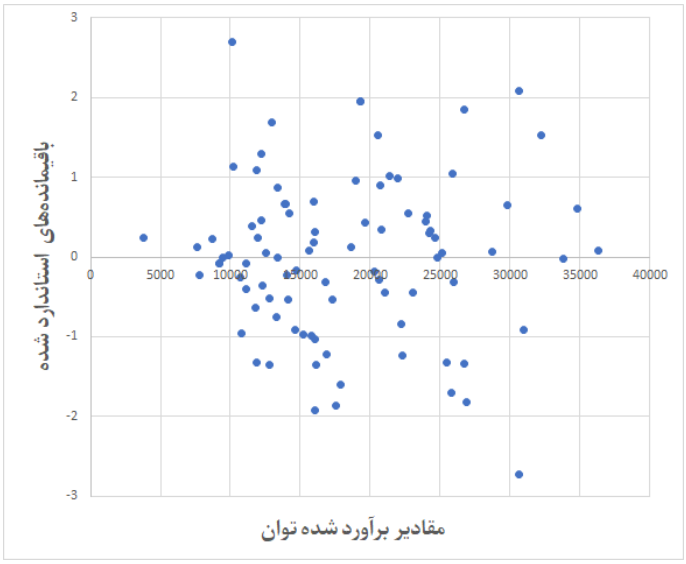
جدول ۵ – نتایج آزمون t برای مدل رابطه ۱۵
Table 5. T-test results for equation 13

t – test	$t_{۰/۰۲۵,۸۵} = ۱/۹۹$	
V_S	$< \lvert ۲/۱۱۹ \rvert t_{۰/۰۲۵,۸۵}$	$\beta_۱ \neq ۰$
DWT	$< \lvert ۴/۴۲۸ \rvert t_{۰/۰۲۵,۸۵}$	$\beta_۲ \neq ۰$
C_b	$< \lvert -۲/۸۲۵ \rvert t_{۰/۰۲۵,۸۵}$	$\beta_۳ \neq ۰$
LBP	$< \lvert -۲.۸۷۵ \rvert t_{۰/۰۲۵,۸۵}$	$\beta_۵ \neq ۰$

در یک نمونه نسبتا بزرگ، مانده‌ها می‌بایستی به طور تقریبی دارای انحرافهای مستقل و نرمال باشند. مانده‌ها دقیقا دارای توزیع مستقل نیستند، اما اگر تعداد مشاهدات زیاد باشد، فقدان استقلال را می‌توان نادیده انگاشت.

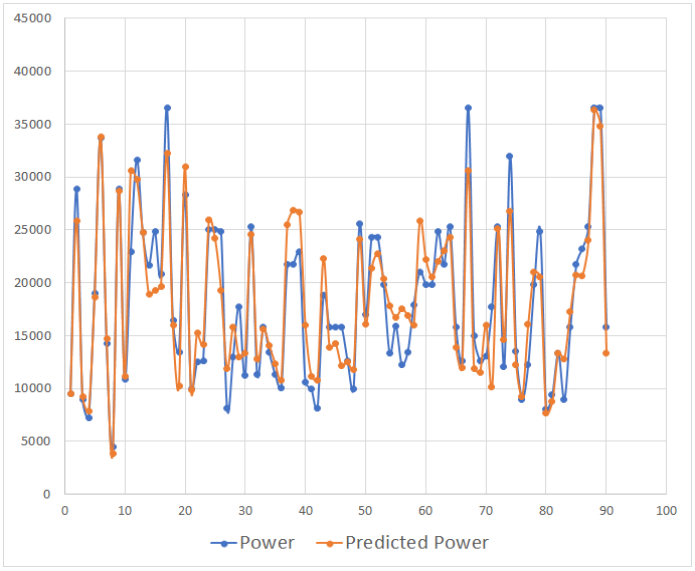
در شکل۶ با توجه به پراکنش غیر مشخص و نیز مقادیر باقیمانده‌های استاندارد شده (که کمتر از سه یا چهار انحراف معیار از میانگین فاصله دارند) مشاهده می‌گردد که کاستی قابل توجهی در مدل وجود ندارد و از فرض‌های اولیه عدول نگردیده است.

در شکل۷ مقادیر برآورد شده توان طبق رابطه (۱۶) با مقادیر توان حقیقی موتورهای ۹۰ شناور مورد مطالعه، نشان داده شده است. مقایسه برآورد توان با استفاده از رابطه آدمیرالتی (۱)، رابطه ولکر (۲) و رابطه تخمین زده شده (۱۶) در جدول۶ آمده است.



شکل ٦ – پراکنش مانده‌های استاندارد شده در برابر مقادیر برآورد شده توان برای رابطه ١٦

Fig. 6- Distribution of standardized residuals against estimated values of power for equation 16.



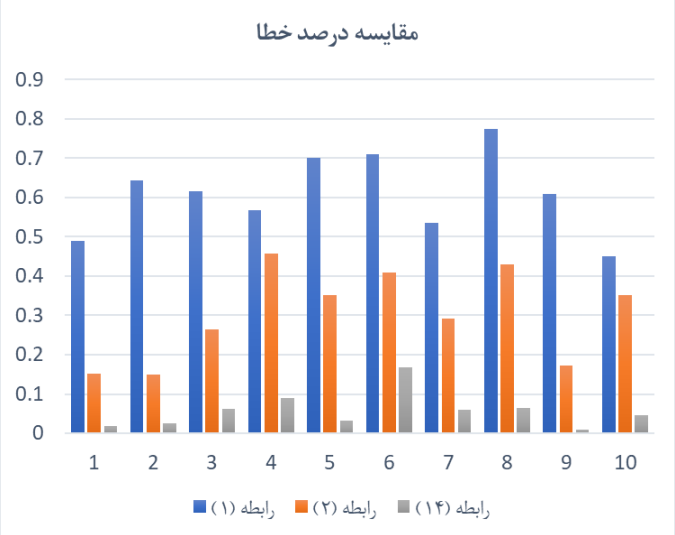
شکل۷- مقایسه مقادیر توان برآورد شده و مقادیر حقیقی (میانگین خطای ٦٧ ٪)

Fig. 7- Comparison of predicted power and actual power (mean error: 6.7%)

جدول ٦ – مقایسه برآورد توان برای ده شناور کانتینربر به طور تصادفی با روابط ۱ و ۲ و رابطه به دست آمده ١٦ با توان موتور نصب شده

Table 6- Comparison of power estimated for ten container vessels randomly with equations 1, 2 and 14.

نام شناور	توان اصلی	رابطه (۱)	رابطه (۲)	رابطه (١٤)
ATLANTIC SOLLI	19040	28344	21922	18704
BOUNDARY	10920	17947	12556	11185
CMA CGM MATISSE	20874	33723	26398	19586
DOMINGO	28350	44429	41288	30901
GH MELTEMI	25040	42563	33830	24239
KOTA MEGAH	22890	39116	32272	26749
MSC ADITI	25554	39235	32989	24017
TG APHRODITE	19810	35162	28319	21096
VENTO DI LEVANTE	13320	21425	15615	13447
WAN HAI 516	36560	52985	49376	34885



شکل۸ – میزان درصد خطای سه رابطه جدول٦

Fig. 8 - Error percentage of the three relationships in Table 6

همان طور که مشاهده می‌گردد که تخمین توان با رابطه آدمیرالتی (۱) دارای خطای قابل ملاحظه‌ای می‌باشد و رابطه ولکر (۲) برآورد بهتری نسبت به رابطه۱ دارد و با توجه به درصد خطای پایین رابطه به دست آمده ۱۴ ملاحظه می‌شود که این رابطه دقت قابل قبول و به مراتب بالاتری نسبت به رابطه‌های تجربی ۱ و ۲ دارد. مقایسه درصد خطای شناورهای جدول۶ در نمودار شکل ۸ برای سه رابطه فوق آمده است.

٤. بحث و نتیجه‌گیری

با استفاده از روش ارائه شده، قبل از انتخاب فرم بدنه می‌توان تخمینی از توان شناورهای کانتینربر به دست آورد. دقت این رابطه تا حد زیادی به پارامترهای موجود در آن بستگی دارد و با توجه به

نتایج حاصله و درصد میانگین خطای ۶/۷٪ بدست آمده از مقایسه توان واقعی و توان برآوردی رابطه (۱۴)، می‌توان اذعان داشت که رابطه به دست آمده دارای دقت قابل قبولی برای این نوع از شناورها می‌باشد. باید توجه داشت که میزان خطا و دقت این رابطه را تنها در محدوده متغیرهای مستقل آنها می‌توان بررسی نمود. در آنالیز رگرسیون وابسته به رفتار متغیرهای مستقل، برون‌یابی ممکن است با خطای زیادی همراه بوده و یا اگر تغییرات متغیر وابسته نسبت به متغیرهای مستقل در خارج از محدوده‌ها به صورت خطی و با شیب مشابه باشد، ممکن است دارای دقت قابل قبولی باشد. ولی بطور کل استفاده از رابطه رگرسیون در خارج از محدوده متغیرهای مستقل صحیح نمی‌باشد. نکته قابل ذکر دیگر در مورد رابطه بدست آمده نحوه استفاده از آن می‌باشد؛ بدین معنی که این رابطه تنها برای برآورد و تخمین توان کشتی‌های کانتینربر تهیه گردید است. استفاده از این رابطه برای تفسیر ضرایب رگرسیون جزء ، یعنی میزان تغییر در متغیر تابع در اثر یک واحد تغییر در متغیر مستقل، ممکن است نتایج دور از انتظاری را به دست دهد. همچنین می‌توان روابط مشابهی را برای شناورهای پرکاربرد دیگر همچون نفتکش‌ها، فله برها و غیره در پژوهش‌های آتی و با بهره‌گیری از روش استفاده شده در این تحقیق ایجاد نمود.

Refrences

Bolougouris, E.K, Papanikolaou, A.D. and Pavlou, 2011. A. Energy efficiency parametric design tool in the framework of holistic ship design optimization. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M. *Journal of Engineering for the Maritime Environment.;225*(3), pp.242-260. DOI: 10.1177/1475090211409997.

Cassella, P. and Krauss, G.R., 1983. Hydrostatic data for cargo ships obtained with regression analysis. *Ocean Engineering*, *10*(3), pp.145-155. DOI: 10.1016/0029-8018(83)90023-9.

Ghasemi, H. and Jafarzadeh Khatibani, M., 2004, determining the stability of commercial ships in the initial stage of design using regression analysis, the 12th annual conference and the 8th international conference on mechanical engineering - Tarbiat Modares University (in Persian).

Heichel, S., Pape, J. and Tosun, J., 2014. Regulation of industrial discharges into surface water. *Understanding Environmental Policy Convergence: The Power of Words, Rules and Money*, p.64.

Papanikolaou, A., 2014. *Ship design: methodologies of preliminary design*. Springer. DOI: 10.1007/978-94-017-8751-2.

Papanikolaou, A.D., 2002. Developments and potential of advanced marine vehicles concepts. *Bulletin of the KANSAI Society of Naval Architects, Japan*, *55*, pp.50-54. DOI: doi.org/10.14856/ran.55.0_50.

Rencher, A.C. and Schaalje, G.B., 2008. *Linear models in statistics*. John Wiley & Sons.

Schneekluth, H. and Bertram, V., 1998. *Ship Design for Efficiency and Economy*. Butterworth-Heinemann. DOI: 10.1016/B978-0-7506-4133-3.X5000-2.

Veritas, B., 2017. Available at: World Wide Web, https://www.veristar.com/portal/veristarinfo/generalinfo/registers/seaGoingShips.

Yilmaz, H. and Giiner, M., 2001. An approximate method for cross curves of cargo vessels. *Marine technology and SNAME news*, *38*(02), pp.92-94. DOI: 10.5957/mt1.2001.38.2.92.

Journal of Marine Science and Technology

Winter 2023, Vol. 22, No.4, pp. 1-12.

Available Online: *http://jmst.kmsu.ac.ir*
Original Article

Power estimation of container carriers at early stage of design by multiple linear regression method

Mohsen Shojaei, Mostafa Jafarzadeh Khatibani*, Etemadaldin Rabei Gholami

Department of Naval Architecture - Faculty of Marine Engineering - Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran.

Corresponding author: m.jafarzadeh@kmsu.ac.ir

Received: 23 August 2019 **Revise Date:** 02 January 2020 **Accepted:** 11 January 2020

DOI: 10.22113/JMST.2020.199000.2306

Abstract

Estimating the required propulsive power of a vessel at early stage of design is important from two aspects, which are estimating the weight of the machinery as a function of required power and estimating the amount of fuel needed to determine the initial capacity of the vessel. This approximation can be based on empirical formulas, data of similar ships or diagrams deduced from statistical data for various types and sizes of ships. Current empirical formulas for estimating ship power are only limited to very few general equations and are inaccurate for specific type of vessels. In this study, by using 90 container ship data and multiple linear regression method, several statistical models were prepared and statistically analyzed considering the influence of the main parameters of the vessels on the required amount of power, and finally a suitable formula extracted. Evaluation of the extracted formula indicates acceptable accuracy for the container ships which can be used to estimate the required power of container ships within the range of this formula.

Keywords: Multiple linear regression, Early stage of design, Power prediction, container carrier

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons. org/licenses/ by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.