Archive of SID

طراحی پایه یک حوضچه کشش جهت دانشکده کشتی سازی و صنایع دریایی

حمید زراعتگر
استادیار دانشکده کشتی سازی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر
hamidz@cic.aut.ac.ir

چکیده

حوضچه کشش از مهمترین امکانات آزمایشگاهی در علم و تکنولوژی کشتی سازی است که بسیاری از مراکز تحقیقاتی و دانشگاهها از آن سود میبرند. دانشکده کشتی سازی و صنایع دریایی نیز در پی تجهیز خود به حوضچه کشش میباشد. طراحی حوضچه کشش بر اصول پایه ای هیدرودینامیک کشتی بنا شده است. در عین حال لازم است آخرین دستاوردهای دیگر آزمایشگاهها در آن لحاظ گردد. نگارنده به دلیل ارتباط و همکاری در تاسیس آزمایشگاه دریایی دیگری، مسئولیت طراحی پایه حوضچه کشش را برعهده گرفته است. این مقاله کلیات طراحی مذکور را ارائه مینماید.

کلمات کلیدی: حوضچه کشش، مقاومت، پروانه، کشتی و هیدرودینامیک

۱- مقدمه

سطح آزاد دریا از تلاقی دو سیال هوا و آب ایجاد میگردد. رفتار این سطح از طبیعتی بسیار پیچیده برخوردار است. بستر حرکت کشتی ها بطور کلی بر روی چنین سطحی میباشد.

آب آرام که در آن سطح آزاد تقریبا هیچ حرکتی ندارد، در مواجهه با حرکت کشتی با سرعت معین از خود عکس العمل نشان داده و مقاومت ایجاد میکند. رفتار پروانه کشتی در پشت بدنه در مجاورت سطح آزاد از دیگر موضوعات مهم میباشد. رفتار شناور در سطح آزاد غیر آرام (موج) از دیگر موارد جدی میباشد. کلیه موارد مذکور از قبیل مقاومت کشتی، خصوصیات هیدرودینامیکی پروانه کشتی، توان موتور اصلی کشتی، دینامیک رفتار کشتی در موج و غیره بهنگام طراحی

www.SID.ir

Archive of SID

کشتی تعیین میگردند. برای دستیابی به موارد مذکور با دقت های مورد نیاز صنعتی و پژوهشی انجام تست مدل در حوضچه کشش اجتناب ناپذیر است.

اولر (Leonard Euler 1707-1783) و دالامبر (Jean Le Rond d`Alembert 1775-1778) از اولین کسانی هستند که در این زمینه آزمایشاتی را انجام داده اند. در سال ۱۸۶۸ ویلیام فرود (William Froude 1810-1879) مشکل بزرگ تست مدل و ایجاد تشابه مابین شناور و مدل را حل نمود. ایشان با تاسیس اولین حوضچه کشش و انجام تست بروش ابداعی خود، پایه گذار روش مهمی جهت دستیابی به خصوصیات رفتاری شناور گردید. از آن زمان تا کنون صدها حوضچه کشش با همان اصول ساخته شده و کماکان حوضچه های مدرنی در سرتاسر جهان در حال احداث میباشد.

نگارنده یک حوضچه کشش برای دانشکده کشتی سازی و صنایع دریایی دانشگاه صنعتی امیرکبیر طراحی نموده است که کاربری آن عمدتا آموزشی، پژوهشی و بعضا صنعتی دارد. نظر به اینکه در طراحی این حوضچه کشش اصول و ویژگیهایی مد نظر قرارگرفته است که ماهیتی آکادمیک دارد، مقاله حاضر به ارائه آن موارد میپردازد.

۲- تعریف و استخراج نیازمندیها

آزمایشگاههای متداول در دانشگاهها به مرور زمان تکوین یافته و با مشخصات نسبتا یکسانی توسط شرکتها طراحی وساخته میشوند. بعضا حتی بصورت انبوه تولید میگردند. حوضچه کشش بدلیل ویژگیهای آن همواره بصورت مستقل طراحی میگردد. برای طراحی یک آزمایشگاهی با این خصوصیات ابتدا لازم است نیازمندیهای طرح شامل: نوع کاربری، نوع تستها و خصوصیات شناور تست شونده تعیین گردد. در تعیین موارد مذکور لازم است از نگاه دست بالا و دست کم بشدت پرهیز گردد. در عین حال لازم است امکان استفاده از آن در آینده نیز مد نظر قرار گیرد.

۲-۱ کاربریها

بطور کلی هر حوضچه کشش میتواند دارای سه کاربری باشد که عبارتند از:

کاربری آموزشی

کاریری تحقیقاتی و تحقیقات توسعه ای

کاربری صنعتی

این حوضچه کشش با شرایط و محدودیتهای زیر هر سه کاربری را خواهد داشت.

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۱-۱ کاربری آموزشی

در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد سلسله درسهایی وجود دارد که هیدرودینامیک کشتی را بصورت نظری ارائه مینماید. انجام آزمایش بدون شک باعث درک عمیق و صحیح هیدرودینامیک کشتی میگردد.

۲-۱-۲ کاربری تحقیقاتی و تحقیقات توسعه ای

اساتید دانشگاه جهت انجام تحقیقات به ابزار مهمی دسترسی پیدا خواهند نمود. از طرف دیگر دانشجویان مقاطع کارشناسی ارشد ودکترا در انجام پایان نامه های تحصیلی از این آزمایشگاه استفاده خواهند نمود.

در مقوله کشتی سازی یکی از ابزارهای مهم جهت تحقیقات توسعه ای حوضچه کشش میباشد. بدلیل نوپا بودن صنایع کشتی سازی در ایران تحقیقات توسعه ای بسیار ضروری می نماید. از طرف دیگر تحقیقات توسعه ای جدی مورد نیاز صنایع دریایی نظامی کشور میباشد که بدلیل محدودیت های جهانی این آزمایشگاه میتواند بخشی از آنرا پوشش دهد.

۲-۱-۳ کاربری صنعتی

بهنگام قرارداد ساخت کشتی ما بین کارفرما (کشتیرانی) و سازنده (کشتی سازی) مجموعه خصوصیات فنی کشتی مورد توافق قرار میگردد. عدم انجام هر یک از توافقات جریمه های سنگینی را بر سازنده تحمیل خواهد نمود. سازنده برای حصول اطمینان از طراحی خود مجموعه تست مدلی را سفارش میدهد که عمدتا توسط حوضچه کشش قابل انجام است. این تست ها معمولا به تعیین مقاومت کشتی، خصوصیات هیدرودینامبکی پروانه و توان مورد نیاز موتور اصلی میپردازد. در صورتیکه کشتی از نظر طرح جدید باشد و یا تغییرات رادیکالی در آن ایجاد شده باشد، دامنه تستها وسیعترگردیده و تستهای بهینه سازی شکل بدنه، رفتار شناور در موج، خصوصیات مانور پذیری شناور وغیره را شامل میگردد.

۲-۲ تستهای مورد نیاز

دانشکده از نظر منابع مالی محدودیت دارد، بنابراین حداقل اندازه ممکن برای حوضچه بهترین انتخاب است. بر این اساس تستهای زیر بعنوان اصلی ترین تستها در نظر گرفته شده است:

- تست مقاومت در آب عمیق
- بهینه سازی فرم بدنه
- تست پروانه در آب آزاد
- تست سیستم رانش شامل پروانه پشت بدنه(خود رانش)، اندازه گیری ویک و اندازه ضریب کاهش تراست
- تستهای رفتار کشتی در موج در امواج منظم و نامنظم یک جهته

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۳ خصوصیات شناور تست شونده

هر حوضچه و تجهیزات آن امکان تست برخی از شناورها را فراهم میسازد. هرچه حوضچه بزرگتر و ارابه با سرعت بیشتری مدل را براند حیطه فعالیت حوضچه وسیعتر میگردد و در عین حال هزینه طرح هم بیشتر میگردد. برای اینکه طرح ما هم جامع و هم مانع باشد لازم است محدوده شناورهایی را که میخواهیم در این حوضچه تست نماییم را تعیین کنیم.

قانون اصلی حاکم بر تشابه بین مدل و شناور در حوضچه کشش قانون تشابه فرود است. بر اساس تشابه فرود در صورتیکه مدلی مشابه شناور واقعی (تشابه هندسی) در سرعت جریان سیال مشابه شناور واقعی بر اساس تساوی عدد فرود مدل وشناور (تشابه سینماتیکی) و همچنین عدد رینولدز مدل بزرگتر از عدد رینولدز بحرانی قرار گیرد، آنگاه نیروهای ثقلی وارده بر مدل مشابه نیروهای ثقلی وارده بر شناور (تشابه دینامیکی) خواهد بود. تشابه هندسی و سینماتیکی بصورت زیر تعریف میگردد:

- تشابه هندسی بین مدل وشناور: مدلی به ابعاد کوچک از شناور اصلی ساخته میشود که از نظر هندسی کاملا مشابه شناور اصلی میباشد. این تشابه بصورت ریاضی بشرح ذیل نمایش داده میشود:

$$\lambda = L_s/L_m = B_s/B_m = T_s/T_m$$
$$\lambda^2 = A_s/A_m = S_s/S_m$$
$$\lambda^3 = \nabla_s/\nabla_m$$

که:

λ : اشل

L : طول

B : عرض

s : اندیس مربوط به کشتی

m : اندیس مربوط به مدل

A : سطح مقطع

S : سطح خیس

∇: جابجایی حجمی

www.SID.ir

Archive of SID

- تشابه سینماتیکی:

$$Rn_m = \frac{\rho_m . V_m . L_m}{\nu_m} > 3.2 \times 10^5$$

$$\Rightarrow L_m > \frac{\nu_m}{\rho_m . V_m} \times 3.2 \times 10^5 \qquad (1)$$

$$Fn_m = Fn_s \Rightarrow \frac{V_m}{\sqrt{g.L_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{g.L_s}}$$

$$\Rightarrow V_m = V_s . \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \qquad (2)$$

که:

V : سرعت

ν : ویسکوزیته سینماتیکی سیال

ρ : چگالی سیال

بر اساس رابطه (۱) برای اینکه جریان سیال اطراف مدل همواره مغشوش باشد طول مدل نباید از حدی کوچکتر باشد. بعبارت دیگر هر چه مدل بزرگتر باشد نتایج تست دقیقتر است. ولی ابعاد بزرگ مدل محدودیتهای دیگری دارد که عبارتند از:

- هرچه مدل بزرگتر باشد سرعت رانش بیشتری لازم است.
- هرچه مدل بزرگتر باشد ابعاد وسایل اندازه گیری بزرگتر میگردد.
- هرچه مدل بزرگتر باشد ابعاد حوضچه بزرگتر میگردد.

تجربه و تحقیق در ITTC [4] نشانداده است که ابعاد مدل بشرح جدول شماره ۱ کافی است.

جدول شماره ۱ : اندازه مدل بدنه و پروانه مورد استفاده در آزمایشگاههای دریایی جهان

ردیف	نوع وشرایط تست	طول مدل بدنه (متر)
۱	مقاومت شناورهای جابجایی	۱۲-۳
۲	مقاومت شناورهای پروازی	بیش از ۲ متر
۳	تست مانور	بیش از ۱ متر
۴	تست sea-keeping	بیش از ۱ متر
۵	تست خود رانش	بیش از ۱/۵ متر
۶	انواع تست مدل پروانه	قطر ۰/۱۷ –۰/۳۰

www.SID.ir

Archive of SID

رابطه (۲) نشان میدهد که سرعت مدل (سرعت ارابه حوضچه) با افزایش سرعت شناور افزایش می یابد. در ضمن هر چه مدل بزرگتر باشد λ کوچکتر شده و در نتیجه سرعت مدل افزایش مییابد. جدول شماره ۲ ترکیبهای مختلف طول و سرعت کشتی و همچنین سرعت متناظر مدل را نشان میدهد.

بر اساس جدول شماره ۲ وبرای جلوگیری از سرمایه گذاری سنگین فرض میگردد که این حوضچه توانایی تست کلیه شناورهای تجاری را داشته باشد. بعبارت دیگر حوضچه دارای ارابه ای با سرعت ماکزیمم ۳ متر بر ثانیه خواهد بود.

جدول شماره ۲ : ترکیبهای مختلف طول وسرعت کشتی و سرعت متناظر مدل بر اساس رابطه (۲)

نوع شناور	ردیف	طول شناور (m)	سرعت شناور (Kn)	طول مدل (m)	سرعت مدل (m/s)
شناور نظامی	۱	۲۰	۸۰	۲	۱۳،۰۰
	۲	۵۰	۳۰	۳	۳،۷۸
	۳	۷۰	۴۰	۳	۴،۲۶
	۴	۱۰۰	۴۵	۳	۴،۰۱
	۵	۱۵۰	۳۵	۳	۲،۵۴
شناور تجاری	۶	۵۰	۱۴	۳	۱،۱۷۶
	۷	۱۰۰	۱۵	۳	۱،۳۴
	۸	۱۵۰	۲۰	۳	۱،۴۵
	۹	۱۵۰	۳۵	۳	۲،۵۴
	۱۰	۱۵۰	۴۰	۳	۲،۹۱
	۱۱	۲۰۰	۲۰	۳	۱،۲۶
	۱۲	۳۵۰	۱۵	۳	۰،۷۱

www.SID.ir

Archive of SID

۳- محاسبه ابعاد حوضچه کشش

طول حوضچه کشش به نوع سیستم رانش وابسته است. در اینجا فرض شده است که سیستم رانش مدل، سیستم ارابه ای[۱] میباشد. شکل شماره۱ بصورت شماتیکی یک سیستم رانش ارابه ای را نشان میدهد.

۳-۱ تعیین طول حوضچه

طول حوضچه مهمترین بعد آن است. طول حوضچه تعیین کننده ابعاد مدل و سرعت نهایی سیستم خواهد بود. برای تعیین طول حوضچه لازم است سرعت ماکزیمم ارابه را بعنوان ورودی در نظر گرفت.

روش کار ارابه بدین صورت است که، ارابه از یک طرف حوضچه از حالت سکون با شتاب تقریبا ثابت بحرکت درآمده و پس از چند ثانیه به سرعت ماکزیمم میرسد. با این سرعت چند ثانیه حرکت نموده تا اولا جریان سیال کاملا یکنواخت شده و اثر شتاب از بین برود، ثانیا فرصت کافی برای ثبت سرعتها، نیروها و دیگر متغیرها فراهم گردد. مقدار زمان لازم در سرعت ماکزیمم معمولا ۱۰ ثانیه است که در حالتهای خاص حتی ۶ ثانیه هم کفایت میکند. سپس با ترمز کردن و طی فاصله معین در انتهای حوضچه متوقف میگردد. در انتهای حوضچه علاوه بر ترمز مذکور ترمز اضطراری دیگری تعبیه میگردد که در صورت عمل نکردن ترمز اصلی در یک فاصله بسیار کوتاه ارابه را متوقف میسازد. جدول شماره ۳ خلاصه محاسبه طول حوضچه را نشان میدهد.

جدول شماره ۳ : محاسبه طول حوضچه کشش جهت ارابه ای با سرعت ماکزیمم ۳ متر بر ثانیه

سرعت ماکزیمم ارابه (m/s)	شتاب اولیه (m/s^2)	شتاب ترمز معمولی (m/s^2)	شتاب ترمز اضطراری (m/s^2)	طول حوضچه تا رسیدن به سرعت اولیه(m)	طول حوضچه در سرعت ثابت(m)	طول ترمز معمولی (m)	طول ترمز اضطراری (m)	طول نهایی (m)
۳	۰،۵	۱،۰	۳،۰	۹	۳۰	۴،۵	۱،۵	۵۱

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۲ تعیین عمق حوضچه

حوضچه های کشش هم عمیق و هم بصورت کم عمق ساخته میشوند. بر خلاف تستهای هیدرولیکی مربوط به سازه های ساحلی که عمدتا در مناطق کم عمق قرار میگیرند، کشتیها غالبا در مناطق عمیق حرکت میکنند. بنابراین بجز موارد محدودی همه تستها مربوط به آب عمیق است.

برای جلوگیری از هزینه های اضافی این حوضچه برای آب عمیق طراحی میگردد. در صورت نیاز به تست در آب کم عمق از کف کاذب (False Bottom) استفاده خواهد شد.

تعریف آب عمیق: به عمقی از آب عمیق گفته میشود که اثر حرکت کشتی در کف احساس نشود. بعبارت دیگر سیال در کف آب هیچ حرکتی نداشته باشند.

شرط لازم برای آنکه اثر حرکت شناوری با سرعت ثابت در آب آرام به کف نرسد آنستکه عمق آب از نصف طول موج ایجاد شده توسط شناور بیشتر باشد. که بصورت ریاضی میتوان نوشت:

$$L_W = \frac{2\pi}{g}.C^2 = \frac{2\pi}{g}.V^2$$

$$h \geq \frac{1}{2}L_W$$

$$h \geq \frac{\pi V^2}{g}$$

که:

C : سرعت موج

V : سرعت کشتی

h : عمق حوضچه

Lw : طول موج

نظر به اینکه سرعت ارابه ۳ متر بر ثانیه است آنگاه عمق حوضچه برابراست با:

$$h = \frac{\pi.3^2}{9.81} + 0.4(\text{freeboard}) = 2.9 + 0.4 = 3.3 \ \ (\text{m})$$

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۳ تعیین عرض حوضچه کشش

هنگام حرکت مدل با سرعت ثابت در یک حوضچه کشش پدیده برگشت جریان به عقب (back flow) اتفاق میافتد. این برگشت جریان همانند برگشت جریان بهنگام حرکت کشتیها در کانالها میباشد. علت ایجاد برگشت جریان آنستکه جریان سیالی مخالف حرکت مدل از کناره و کف حوضچه ایجاد شده تا هم سطحی آب حوضچه در پایین دست و بالا دست مدل را فراهم نماید. نتیجه ایجاد چنین جریانی آنستکه سرعت واقعی مدل به مقدار اندکی بیش از مقدار سرعتی است که مدل در حوضچه کشیده میشود. به این پدیده Blockage Effect گفته میشود.

لازم است سطح مقطع مدل نسبت به سطح مقطع حوضچه مقدار قابل قبولی باشد تا این اثر نتایج آزمایش را تحت الشاع خود قرار ندهد. با توجه به مشخصات مدل، بزرگترین مدلی که در این حوضچه تست میشود دارای مشخصات ابعادی بشرح ذیل میباشد:

$L_m = 3 \ (\mathrm{m})$
$\mathrm{B_m} = 0.6 \ (\mathrm{m})$
$\mathrm{T_m} = 0.2 \ (\mathrm{m})$
$\mathrm{A_m} = 0.12 \ (\mathrm{m^2})$
$\nabla_m = 0.25 \ (\mathrm{m^3})$

که:

L_m: طول مدل

$\mathrm{B_m}$: عرض مدل

$\mathrm{T_m}$: آبخور مدل

$\mathrm{A_m}$: سطح مقطع مدل

∇_m : جابجایی حجمی مدل

بر اساس معیار Scott مقدار سرعت Blockage بصورت زیر محاسبه میگردد:

$$\frac{\Delta V}{V} = K_1 \cdot A^{-3/2} + B_m \cdot {L_m}^2 \cdot K_2 \cdot A^{-3/2}$$

$$A = \left(\frac{\Delta V}{V} \cdot \frac{1}{K_1 \cdot \nabla_m + B_m \cdot {L_m}^2 \cdot K_2} \right)$$

که :

www.SID.ir

Archive of SID

A : سطح مقطع حوضچه

K1 : ضریبی است که بر اساس شکل شماره ۳ تعیین میگردد.

K2 : بصورت زیر محاسبه میگردد.

$$K_2 = \begin{cases} 2.4(Fn - 0.22)^2 & 0.22 < \mathrm{Fn} < 0.38 \\ 0.0 & 0.22 \geq \mathrm{Fn} \end{cases}$$

با روابط ارائه شده اضافه سرعت مدل نسبت به سرعت کشش محاسبه میگردد.

بر اساس روابط پیشنهادی در مراجع [1] و [4] حداقل عرض حوضچه کشش عبارتست از:

$$\frac{B_T}{B_m} > 10 \Rightarrow B_T \approx 6.0 \quad (\mathrm{m})$$

که:

B_T : عرض حوضچه است

۴. جمعبندی و نتیجه گیری

طراحی پایه یک حوضچه کشش موضوع اصلی این مقاله بوده است. ابتدا خواسته های اصلی دانشکده استخراج گردید. در تعیین خواسته های اصلی کلیه کاربریها مورد مطالعه قرار گرفت. در تعیین کاربریها اولا حدالمقدور علاوه بر کاربری های پژوهشی کاربری های صنعتی نیز در نظر گرفته شد، ثانیا همواره اشل دانشگاهی ابعاد حوضچه جهت جلوگیری از سرمایه گذاری سنگین بعنوان معیار اساسی مد نظر بوده است.

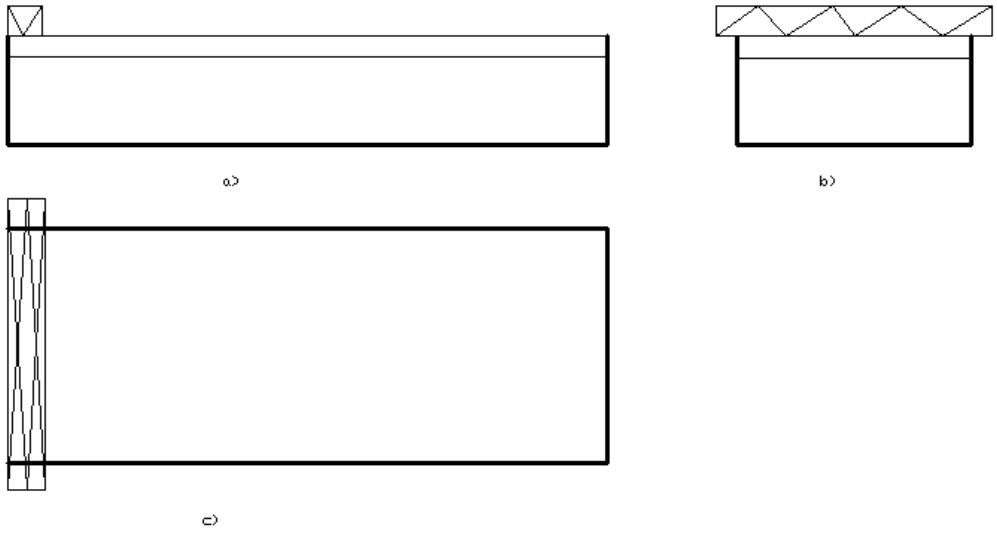
نتیجه این طراحی در جدول شماره ۴ ارائه شده است.

جدول شماره۴: ابعاد نهایی حوضچه کشش

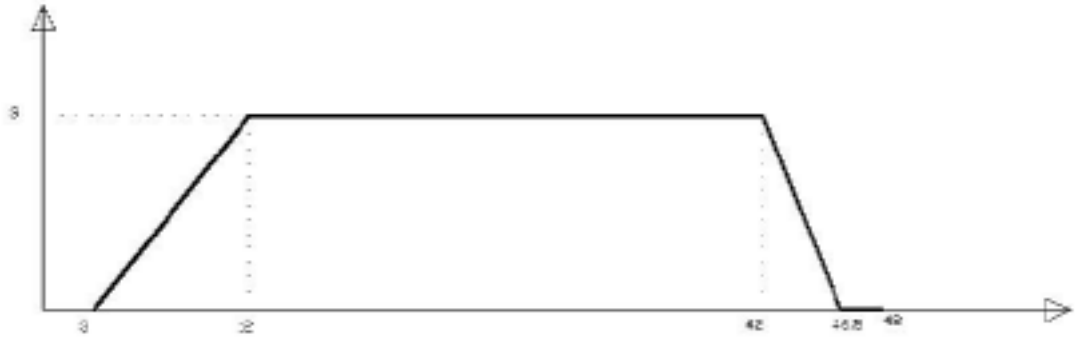
طول حوضچه (m)	عرض حوضچه (m)	ارتفاع حوضچه (m)	آبخور حوضچه (m)	ماکزیمم سرعت ارابه (m/s)
۵۱	۶	۳،۳	۲،۹	۳،۰

www.SID.ir

Archive of SID



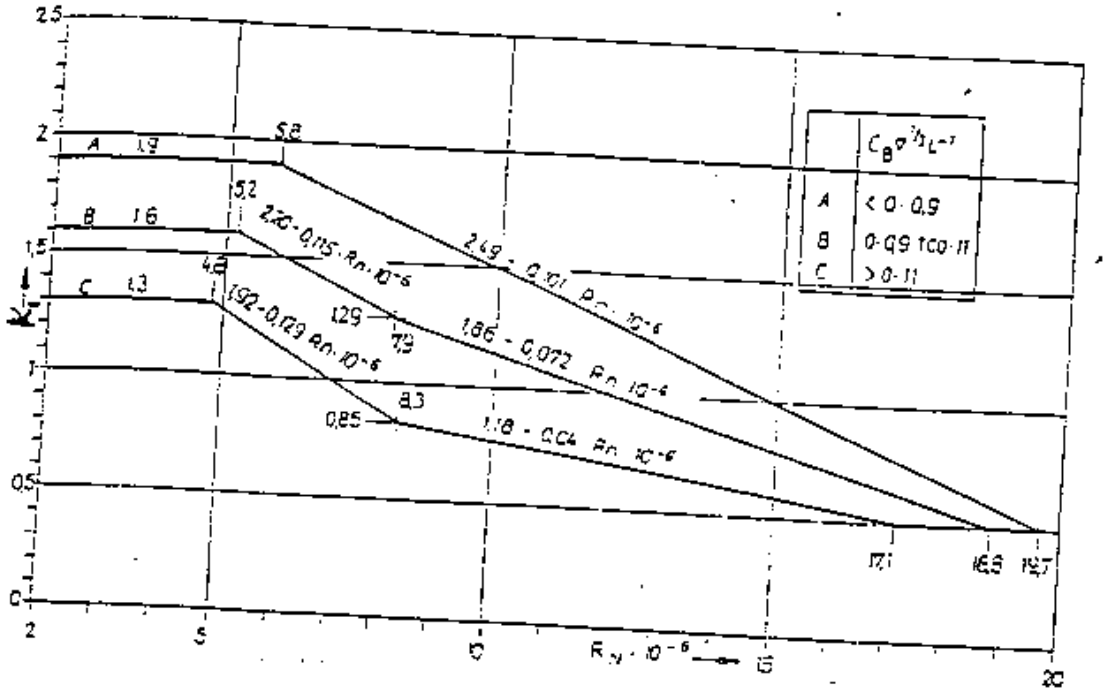
شکل شماره۱ : شکل شماتیک سیستم رانش ارابه ای a) نمای روبرو b) نمای جانبی c) نمای از بالا



شکل شماره ۲ : مدل ساده رسیدن به سرعت ماکزیمم و ترمز کردن یک ارابه

www.SID.ir

Archive of SID



شکل شماره ۳: منحنی تجربی محاسبه ضریب K1 بر اساس عدد رینولدز .

مراجع:

1. Lech Kobylinski, “Description of Tests to Be Performed in Marine Laboratory” Foundation for Safety of Navigation and Environment Protection, Report No. 8/99, November 1999
2. Principles of Naval Architecture, Vol. II, Resistance, Propulsion and Vibration, 1989.
3. 22nd International Towing Tank Conference, “ITTC Quality Manual”, September 1999

۴. شهراد کوکبی جهرمی، ، "طراحی و تست سیستم ثقلی جهت تعیین مقاومت مدل در کانال تحقیقاتی دانشکده مکانیک"، مجموعه مقالات پژوهشی دانشگاه صنعتی شریف ۱۳۷۷ ، دانشکده مکانیک.

www.SID.ir