

## امکان‌سنجی بهره‌گیری از بدنه‌های هیبریدی در طراحی

### شناورهای تندرو مدرن

محمد حسین کریمی<sup>۳۴</sup>، موعود نیک‌فرجام<sup>۳۵</sup>

پژوهشکده علوم و فن‌آوری دریایی (MSTI)

#### چکیده

اخیراً گروه کشتی‌سازی ایتالیایی RODRIQUES و موسسه رده‌بندی RINA به طور مشترک یک طرح جدید برای یک شناور تندرو با فرم بدنه بهینه را مطرح کرده‌اند که ALISWATH نام گرفته است. این پروژه حاصل تحقیقی با ۱۶ میلیون یورو بودجه است که توسط وزارت علوم و تحقیقات ایتالیا هدایت و پشتیبانی می‌شود و از سال ۲۰۰۲ شروع شده است.

شناور هدف این تحقیق به منظور حمل و نقل بار و مسافر با سرعت بالا و قابلیت سازگاری با محیط زیست و نیز کاهش چشمگیر مصرف سوخت در نظر گرفته شده است. موسسات مهمی مانند دانشگاه جنوا ایتالیا و موسسه کرلیف در سن پترزبورگ روسیه در این طرح همکاری می‌کنند.

فرم بدنه ترکیبی ALISWATH در حقیقت سطح خیس اندک یک شناور SWATH را با ایده هیدروفویل ترکیب می‌کند. پروتوتایپ این شناور در مقیاس واقعی برای حمل ۴۵۰ مسافر و ۶۰ خودرو با سرعت ۲۸ نات ساخته و تست شده است. این مقاله به صورت کاربردی به بررسی طراحی فرم‌بدنه هیبریدی در شناورهای تندرو می‌پردازد.

#### کلمات کلیدی

شناور تندرو - هیدروفویل - بدنه هیبریدی

<sup>34</sup> کارشناس ارشد کشتی‌سازی، سرپرست پژوهشکده علوم و فن‌آوری دریایی

<sup>35</sup> کارشناس ارشد معماری کشتی، سازه

## مقدمه

تمایل برای دستیابی به سرعت‌های زیاد و رفتار متعادل در شناورهای تندرو از یک طرف و تقاضا برای کاربرد شناورهای بدون سرنشین به خصوص در صنایع نظامی از سوی دیگر همواره این سؤال را پیش روی طراحان قرار داده است که چگونه با به کارگیری یک فرم بدنه، می‌توان به قابلیت حرکت در موج مناسب (Seakeeping) در سرعت‌های کم و به راندمان، سرعت و قابلیت دریانوردی مناسب در سرعت زیاد دست یافت.

فرم‌های سنتی بدنه شناور مانند فرم‌های تک‌بدنه<sup>۳۶</sup> و چندبدنه<sup>۳۷</sup> و نیز فرم‌های مدرن مانند شناورهای هیدروفویل<sup>۳۸</sup> و Swath<sup>۳۹</sup>، هیچکدام به تنهایی نمی‌توانند جوابگوی نیاز فوق باشند لذا طراحی ترکیبی با استفاده از تکنولوژی سطوح لیفت‌ساز<sup>۴۰</sup> جوابی مناسب برای این نیاز ارائه می‌کند. [۱]

امروزه ناوگان دریایی در دنیا و به خصوص نیروهای نظامی در عرصه دریا با توجه به شرایط خاص عملکرد در مناطق عملیاتی متغیر در دنیا و مأموریت‌های خاص، به دنبال شناورهایی هستند که مشخصات و پارامترهای ذیل را داشته باشد:

- سرعت زیاد
- تعادل مناسب در حالت‌های مختلف بارگذاری
- قیمت مناسب و هزینه‌های کاربری کم
- قابلیت انجام مأموریت‌های متنوع
- قابلیت عملکرد در سرعت‌های کم و نیز توان عملیات در سرعت صفر به عنوان سکوی مناسب
- قابلیت انتقال بار و مسافر به طور اقتصادی در سرعت ۳۰ نات
- توانایی عملکرد در سرعت‌های بالای ۵۰ نات
- تعادل استاتیک در سرعت صفر و تعادل دینامیک در فورس ۴ دریا

<sup>36</sup> Monohull

<sup>37</sup> Multihull

<sup>38</sup> Hydrofoil vessel

<sup>39</sup> Small wetted area twine hull

<sup>40</sup> Lifting surface

- افزایش برد عملیاتی
- قابلیت حمل و پرتاب انواع سلاح‌های سبک و سنگین در دریای موج و در سطح و زیر سطح

### حرکت در موج (Seakeeping)

رفتار و راندمان مناسب شناور در دریای موج از نقطه نظر اهمیت، عموماً بر افزایش سرعت ارجحیت دارد. عموماً رفتار شناور در موج عامل اصلی انتخاب فرم بدنه و ابعاد شناور می‌باشد. مواردی که به عنوان پارامترهای اصلی در این رابطه مهم هستند به شرح ذیل می‌باشند:

- حداقل بودن اسلمینگ<sup>۴۱</sup> در موج
- حداقل بودن مقاومت اضافی<sup>۴۲</sup> شناور در موج
- پایین بودن شتاب‌ها و نیروهای وارده
- پایین بودن میزان حرکات خطی و زاویه‌ای شناور
- حداقل خیسی عرشه<sup>۴۳</sup>
- عدم خروج پروانه<sup>۴۴</sup> از آب در دریای موج

در صورت رفتار نامناسب در موج در سرعت‌های پایین، راندمان شناور تحت تاثیر قرار گرفته و عملاً عملکرد آن غیر ممکن می‌گردد [۲].

### تکنولوژی اجسام لیفت‌ساز

طراحی مناسب یک شناور نتیجه اولویت‌گذاری و تعیین اهمیت مابین تعدادی از پارامترها و مشخصات می‌باشد. نکته مهم این است که هیچکدام از شناورهای سنتی یا شناور مدرن تندرو نمی‌توانند شرایط ذیل را به صورت همزمان برآورده نمایند:

۱. حرکات مناسب در سرعت پایین<sup>۴۵</sup>

<sup>41</sup> Slamming

<sup>42</sup> Added resistance

<sup>43</sup> Deck wetness

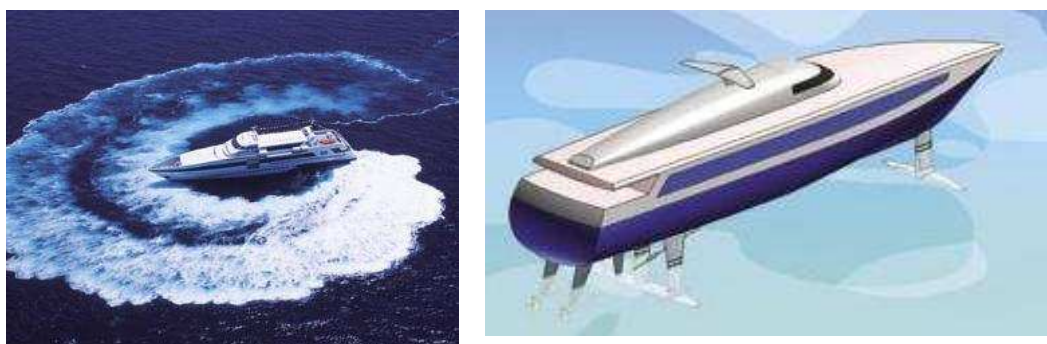
<sup>44</sup> Propeller emergence

۲. راندمان بالا در سرعت زیاد به همراه حرکات مناسب در موج

از بین شناورهای تندرو با بدنه مدرن<sup>۴۶</sup> شناور Swath دارای رفتاری مناسب و بهینه در محدوده سرعت خود می‌باشد و خصوصاً در سرعت پایین و حالت سکون رفتار خوبی در برابر موج دارد اما این شناور در سرعت‌های زیاد رفتار نامناسبی را نشان می‌دهد.

شناور هیدروفویل در سرعت‌های بالا، راندمان و رفتار مناسبی در موج دارد اما چون بدنه آن کاملاً بر فویل مستقر شده است، رفتاری کاملاً نامناسب در موج و در سرعت‌های کم نشان می‌دهد. لذا بر اساس جدیدترین ایده در دنیا، تنها راه حل این پارادوکس، استفاده از شناورهای ترکیبی (هیبریدی) است که با استفاده از تکنولوژی اجسام لیفت‌ساز امکان‌پذیر می‌باشد.

اجسام لیفت‌ساز به تجهیزاتی اطلاق می‌شود که در زیر آب با توجه به فرم فویل مانند مقطع، در سرعت‌های خاص ایجاد لیفت می‌کنند. این تجهیزات با پارامترهای حجم، ابعاد و سطح مقطع بزرگ و ضریب لیفت کم مشخص می‌شوند. سطح مقطع بزرگ آن‌ها به منظور ایجاد سطح لیفت مناسب به کار می‌رود. (شکل-۱)



شکل-۱: نمایی از مانور یک شناور با بدنه هیبریدی [۱]

#### معرفی بدنه‌های هیبریدی<sup>۴۷</sup>

شناورهای با بدنه‌های هیبریدی به شناورهایی اطلاق می‌شود که از ترکیب مناسب فرم‌بدنه‌های معمولی (تک بدنه و چند بدنه) با اجسام لیفت‌ساز ساخته شده‌اند. (شکل-۲)

<sup>45</sup> Low speed motion

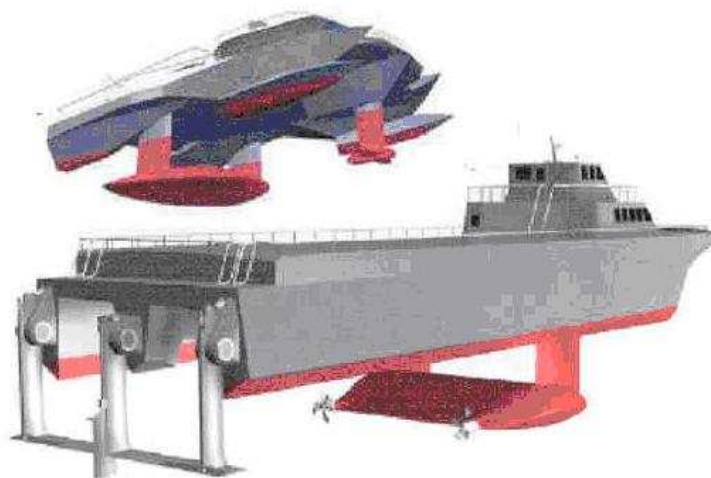
<sup>46</sup> Advanced Marine vehicles

<sup>47</sup> Hybrid lifting body ships

مزایای استفاده از اجسام لیفت‌ساز در شناورهای هیبریدی عبارتند از:

- سرعت بالاتر
- قابلیت حمل بار بیشتر
- رفتار مناسب در موج

با توجه به تحمل بخشی از وزن شناور توسط اجسام لیفت‌ساز، سطح خیس شده شناور کاهش یافته و باعث کاهش مقاومت اصطکاکی می‌شود. از طرفی سطوح لیفت‌ساز به نحوی طراحی می‌شوند که از نظر هیدرودینامیکی دارای فرم مناسب و مؤثر باشد و عموماً با نسبت لیفت به درگ<sup>۴۸</sup> زیاد طراحی می‌گردند. نکته اصلی در طراحی این اجسام آن است که به خاطر طول کوتاه، تولید لیفت تنها در اعداد فروید بالا صورت می‌گیرد و لذا مقاومت موج کمی ایجاد می‌شود. بر این اساس، اجسام لیفت‌ساز باعث کاهش قابل توجه مقاومت می‌شوند. از مزایای دیگر اجسام لیفت‌ساز، کاهش مصرف سوخت، افزایش برد دریانوردی، افزایش طول مدت مأموریت و کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌باشد.



شکل-۲: تصاویری از دو شناور با بدنه هیبریدی [۲]

<sup>48</sup> Drag/Lift ratio

استفاده از اجسام لیفت‌ساز، حجم جابجایی شناور را افزایش می‌دهد. همچنین حجم داخل اجسام لیفت‌ساز می‌تواند برای نصب مخازن سوخت یا نصب سیستم رانش استفاده شود. در حالتی که نسبت حجم جابجایی بدنه اصلی به حجم جابجایی اجسام لیفت‌ساز یک پارامتر متغیر طراحی است، می‌توان بدنه اصلی را کوچک‌تر در نظر گرفت. این امر باعث می‌شود که قدرت مورد نیاز برای رانش شناور کاهش یابد. همچنین در این حالت وزن سازه کاهش می‌یابد و لذا بر نسبت وزن بار قابل حمل شناور افزوده می‌شود.

در این حالت با توجه به انتقال بخشی از حجم جابجایی بدنه اصلی به اجسام لیفت‌ساز، مساحت صفحه خط آب و سطوح خیس‌شده شناور کاهش یافته و لذا موج ناشی از حرکت شناور کم شده و همچنین اثرات نیروهای ناشی از موج کاسته می‌شود و لذا حرکات شناور متعادل می‌گردد.

در سرعت‌های کم خصوصاً در سرعت صفر نیز، شرایط دمپینگ<sup>۴۹</sup> اجسام لیفت‌ساز به خاطر وزن افزوده شده<sup>۵۰</sup> زیاد، باعث کاهش حرکات شناور در موج می‌شود. از سوی دیگر در سرعت‌های زیاد سطوح کنترلی لیفت‌ساز امکان افزایش کنترل دینامیکی را فراهم می‌کنند و در نتیجه رفتار شناور در موج بهبود می‌یابد.

### نحوه انتخاب فرم بدنه اصلی و ترکیب آن با اجسام لیفت‌ساز

انتخاب فرم بدنه مناسب باعث افزایش تاثیر مثبت استفاده از اجسام لیفت‌ساز می‌شود. در شرایط ایده‌آل بدنه اصلی باید شرایطی داشته باشد که انتقال بویانسی بدنه اصلی به اجسام لیفت‌ساز به خوبی صورت گیرد.

### روند پیشرفت تکنولوژی اجسام لیفت‌ساز

از کامل‌ترین نمونه‌های شناورهایی با بده هیبریدی می‌توان به شناور MIDFOIL اشاره کرد. این شناور که ۶۵ فوت طول دارد، در سال ۱۹۹۸ به آب‌اندازی شد و در سال ۲۰۰۰ تحت بهینه‌سازی‌های کلی قرار گرفت.

(شکل-۳)

---

<sup>49</sup> Damping

<sup>50</sup> Added mass



شکل-۳: نمایی از نصب اجسام لیفت‌ساز در شناور Midfoil [۲]

در بدنه اولیه این شناور یک فویل با ضخامت زیاد از جنس AL به همراه فن‌های قابل کنترل استفاده شده است اما در بدنه اصلاح‌شده، سطوح سه‌بعدی لیفت‌ساز به جای فویل دوبعدی به کار گرفته شده‌اند. همچنین در جلوی شناور از یک T-Foil استفاده شده است. پس از چندی به منظور بهینه‌سازی این شناور، شناورهای HDV-100 و HYSWAC تولید شدند.

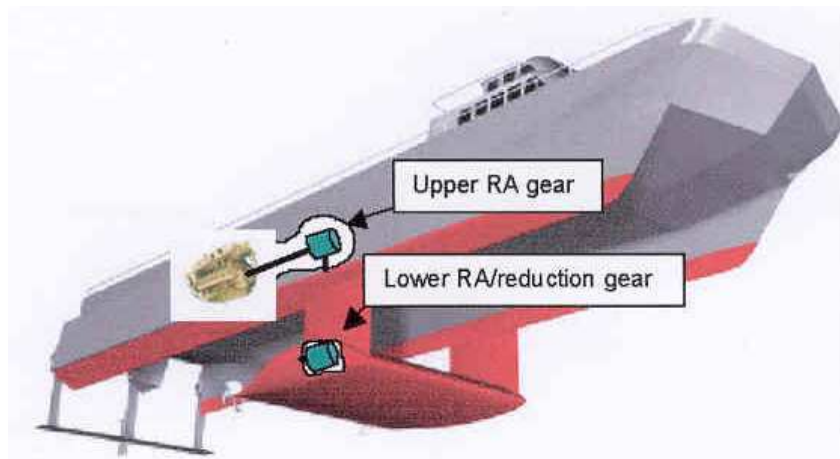
HYSWAC یک شناور SES<sup>۵۱</sup> است که در نیروی دریایی آمریکا استفاده می‌شود و با استفاده از تکنولوژی اجسام لیفت‌ساز به یک شناور با صفحه آب کوچک تبدیل شده است، مشخصات این شناور در جدول ۱- نشان داده شده است. تبدیل SES-200 به HYSWAC با حذف بالشتک هوا در جلو و عقب و نیز حذف فن‌ها و موتورهای مربوطه صورت گرفته است.

#### جدول ۱- مشخصات عمومی HYSWAC

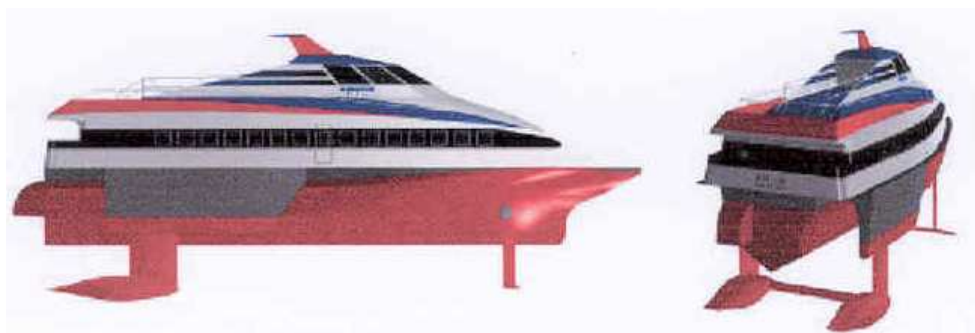
Type of boat	Catamaran
Overall Length [m]	48.8
Overall Beam [m]	13.1
Draught [m]	5.6
Displacement [LT]	270
Vs [kn]	30
POWER [HP]	10,000

<sup>51</sup> Surface effect ship

شناور HDV-100 یک شناور ۱۰۰ فوت با وزن ۹۸ تن است که از طریق به کارگیری تکنولوژی شناورهای هیبریدی با بدنه V شکل به دست آمده است. این شناور متشکل از فرم بدنه V شکل و دو سطح لیفت‌ساز و سطوح کنترلی است. (شکل‌های ۴ و ۵)



شکل ۴- شناور ترکیبی HYSWAC [۲]



شکل ۵- شناور ترکیبی HDV-100 با کاربری حمل مسافر [۲]

### طراحی شناور Aliswath

همان‌طور که گفته شد اخیراً گروه کشتی‌سازی ایتالیایی RODRIQUES و موسسه رده‌بندی RINA به طور مشترک یک طرح جدید برای یک شناور تندرو با فرم بدنه بهینه را مطرح کرده‌اند که ALISWATH نام گرفته است.

طرح Aliswath یک فرم بدنه ترکیبی است که فرم Swath که سطح خیس آن بسیار کم است را با سیستم

هیدروفویل ترکیب می‌نماید. پروتوتایپ این شناور در مقیاس واقعی برای حمل ۴۵۰ مسافر و ۶۰ خودرو با



سرعت ۲۸ نات در حال ساخت است که پیش‌بینی می‌شود مصرف سوخت آن حدود ۴۰٪ نسبت به طرح‌های مشابه کمتر باشد. این طرح همچنین آلودگی‌های ناشی از نشت مواد سوختی و آلاینده را تا حد زیادی کاهش داده است. در این طرح ایده شناورهای تریماران سبب شده است تا یک بدنه اژدر مانند در زیر بدنه اصلی نصب شود که با سیستم هیدروفویل به تولید نیروی لیفت اضافی کمک می‌کند. (شکل-۶)



شکل-۶: نمایی از فرم بدنه شناور Aliswath

هم‌اکنون شناور TMV70 ساخت شرکت RODRIQUES با طول ۷۰ متر و توانایی حمل ۴۵۰ مسافر و ۶۰ خودرو و سرعت معادل ۲۸ نات در حال فعالیت می‌باشد. قدرت رانش این شناور ۹۳۰۰ KW می‌باشد. مطابق نتایج به دست آمده از تست مدل در آزمایشگاه کریلف روسیه شناور Aliswath با طول ۶۴ متر و ظرفیت یکسان و قدرت رانش ۶۰۸۰ kw قابلیت رسیدن به همان سرعت را دارد.



شکل-۷: تست مدل اجسام لیفت‌ساز در شناور Aliswath در آزمایشگاه کریلف روسیه

کاهش قدرت مورد نیاز برای رسیدن به سرعت ۲۸ نات در حالت فوق به دلیل بهره‌گیری از سیستم هیدروفویل نصب شده می‌باشد که ۲۰٪ وزن جابجایی شناور را از طریق تولید نیروی لیفت اضافی در حالت پروازی<sup>۵۲</sup> تامین می‌کند و موجب کاهش سطح خیس شناور می‌شود.

در این حالت هنگامی که شناور به سرعت حدود ۲۰ نات می‌رسد بدنه اصلی آن از سطح آب جدا می‌شود و تنها بخش اژدر مانند آن با آب در تماس می‌باشد و آب‌خور آن از ۵/۵ متر به حدود ۳/۹ متر کاهش می‌یابد. این بخش از شناور راندمان هیدرودینامیکی بالایی دارد و بر اساس دو نیازمندی طراحی می‌شود:

۱- ایجاد فضای کافی برای نصب موتور و سیستم رانش

۲- کاهش آشفتگی جریان سیال عبوری

در صورت طراحی درست، مقاومت افزوده شناور به کمترین حد خود رسیده و پروانه‌ها در شرایط ایده‌آل و با راندمان بالا کار می‌کنند.

از طریق تحلیل‌های CFD و تست مدل در شرایط مختلف، مدل‌های گوناگونی از شناور Aliswath مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در حال حاضر نمونه ۶۴ متری این شناور با ۱۵/۵ متر عرض و ۴۹۹ تن وزن جابجایی در حال ساخت است. از جمله مزایای بهره‌گیری از شناور Aliswath می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- ویژگی‌های هیدرودینامیکی مناسب از جمله کاهش موج سینه<sup>۵۳</sup> و ویک پاشنه<sup>۵۴</sup>
- کاهش آلودگی ناشی از نشت مواد سوختی و آلاینده به واسطه نصب تانک‌های سوخت در بالای

خط آب

- کاهش چشمگیر مصرف سوخت تا حدود ۴۰ درصد
- قابلیت دریانوردی تا ارتفاع مشخصه موج ۴ متر

<sup>52</sup> Flying mode

<sup>53</sup> Bow wave

<sup>54</sup> Stern wake

## جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

شناورهایی با بدنه ترکیبی که از اجسام لیفت‌ساز بهره می‌گیرند را می‌توان به عنوان یک تکنولوژی مؤثر در طراحی نوین شناورهای تندرو در نظر گرفت. با توجه به پتانسیل موجود در این تکنولوژی، بهبود مؤثری در راندمان شناور تجاری و نظامی حاصل می‌شود.

در این مقاله ایده استفاده از اجسام لیفت‌ساز تشریح گردید و یک نمونه از این شناورها که در حال حاضر در حال بهینه‌سازی و ساخت می‌باشد بررسی شد. با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد این شناور مانند قابلیت حمل بار زیاد، سرعت بالا، تعادل و مانور مناسب و ... استفاده از این شناور به عنوان یک شناور مسافربر و یا یک سکوی حمل تسلیحات به عنوان یک شناور نظامی پرسرعت پیشنهاد می‌گردد. در حال حاضر امکان‌سنجی طراحی این شناور در پژوهشکده علوم و فن‌آوری دریایی در حال بررسی می‌باشد.

## مراجع

۱- محمد حسین کریمی، "کاربرد تکنولوژی اجسام لیفت‌ساز در طراحی کشتی" چهارمین همایش سالانه

شناورهای تندرو و کاربرد آن در ندسا، چالوس، ۱۳۸۵

- [2] Hoppe, K.G., "Catamaran with Hydrofoils", S.A. Patent No. 80/5400 entered by BMI and overseas applications.
- [3] Hoppe, K.G., "Catamaran with Hydrofoils", S.A. Patent No. 83/3503 entered by BMI and overseas applications.
- [4] Cantiere Navaltcnica Brit, Patent Specification 1524938 1977, "Improvements Relating to Catamarans".
- [5] Wai Po Loo, United States Patent Specification 3,179,077 -1965- "Hydro Wing Ship".
- [6] Hanns Schertel von Burtenbach, Swiss Patent Specification 605244۱۹۷۷ - "Tragflügel - Katamaranboot". (Supramar AG, Stansstad)
- [7] Hoppe, K.G., "Comparative Planning Hull Model Tests in a Water-circulating Tank, Memorandum, No.1 Department of Mechanical Engineering, University of Stellenbosch, 1977.
- [8] Hoppe, K.G., "Model Tests on IMT Catamaran Dolomede" Bureau for Mechanical Engineering, University of Stellenbosch, 1979.