



## مدل سازی، طراحی و ساخت یک خودرو کنترل از راه دور زیر سطحی (Underwater ROV) جهت انجام عملیات بازرسی زیر آب

غلامرضا وثوقی<sup>۱</sup>، آریا الستی<sup>۲</sup>، حسین برهان<sup>۳</sup>

پژوهشکده سیستمهای پیشرفته صنعتی و قطب علمی طراحی، رباتیک و اتوماسیون

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

صندوق پستی ۹۵۶۷-۱۱۳۶۵، تهران، ایران

[borhan@mehr.sharif.edu](mailto:borhan@mehr.sharif.edu)

<http://mehr.sharif.edu/~borhan>

### چکیده

از ابتدای سال ۱۳۸۰، با حمایت پژوهشکده سیستمهای پیشرفته صنعتی تولید دانش فنی طراحی و ساخت خودروهای کنترل از راه دور زیر سطحی جهت انجام فعالیتهای رباتیکی در زیر آب به عنوان یک پژوهش کاربردی در دانشگاه صنعتی شریف مورد توجه قرار گرفت. در این راستا طراحی، مدل سازی، ساخت، شناسائی و کنترل یک نمونه ROV زیرآبی با عنوان ۱-SUTRO در دانشگاه صنعتی شریف آغاز گردید. هدف از ساخت این وسیله، ایجاد امکان حرکت صفحه‌ای در اعماق مختلف آب تا عمق ۲۰ متر و انجام فعالیتهای رباتیکی و پردازش تصویر در زیر آب تعریف شده است. برای این منظور، از چهار عدد تراستر، جهت حرکت ۱-SUTRO در جهات پیشروی (Surge)، جانبی (Sway)، عمقی (Heave) و دورانی (Yaw) استفاده شده است. همچنین بر روی وسیله یک دوربین زیرآبی نصب گردیده که امکان مشاهده محیط زیر آب را برای کاربر فراهم می‌نماید. در ادامه به مروری اجمالی بر کارهای انجام شده جهت طراحی و ساخت ۱-SUTRO، می‌پردازیم.

**کلمات کلیدی:** خودرو زیر آبی (Underwater ROV)، شناسائی، تراستر (Thruster)، مدل دینامیکی، کنترل

<sup>۱</sup> دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

<sup>۲</sup> دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

<sup>۳</sup> کارشناس ارشد مهندسی مکانیک



## مقدمه

اولین ROV همراه با کابل به نام Poodle در سال ۱۹۵۳ توسط Dimitri Rebikoff در روسیه طراحی و ساخته گردید. ROV به عنوان یک ابزار مؤثر زمانی شناخته شد که نیروی دریایی آمریکا در سانحه سقوط هواپیمای بمب افکن در سال ۱۹۶۶ بمب اتم به جای مانده در هواپیما را از اعماق دریا در اسپانیا بیرون آورد و چند سال بعد در سال ۱۹۷۳ توانست به کمک همان ROV، خدمه زیر دریایی غرق شده در سواحل ایرلند را در حالیکه تنها چند دقیقه به تمام شدن هوای ذخیره داخل زیر دریایی باقیمانده بود نجات دهد. با پیشرفت فن آوری، شرکتهای نفتی متوجه قابلیتهای ROV در عملیات نفتی خارج ساحل شدند و با سرمایه گذاری در این عرصه، فوائد استفاده از ROV را در عرصه اقتصادی نمایان ساختند. در این زمینه دو ROV به نامهای RCV-۱۵۰ و RCV-۲۲۵ توسط شرکت Hydroproducts در آمریکا برای کاربرد های خارج ساحلی ساخته شدند. به تدریج با کشیده شدن عملیات حفاری به اعماق زیاد دریا ها، ROV به عنوان یک عضو اصلی و جدایی ناپذیر در عملیات نفتی مطرح گردید. امروزه با پیشرفت تکنولوژی و قابلیت انجام وظایف مختلف در اعماق بیشتر از ۱۰/۰۰۰ فوت زیر آب، ROV توانسته است به عنوان یک عضو کلیدی و با قیمت اقتصادی مناسب در سازمانهای مختلف دیگر از قبیل سازمانهای تولید نیرو و تأمین آب، مراکز هسته ای، پلیس، مؤسسات علمی و تحقیقاتی، صدا و سیما و سازمانهای کمک رسانی مطرح گردد. علاوه بر دقت بالا در انجام وظایف محوله و قابلیت رفتن به اعماق زیاد به عنوان خصوصیات اصلی ROV، جایگزین کردن غواص با ROV حتی در کاربرد های معمولی برای شرکتهای خدماتی و بازرسی از اهمیت بالایی برخوردار است. کاربرد ROV در این مورد با مطرح شدن فاکتور های انسانی و بالا رفتن ارزش انسانها در جوامع صنعتی روز به روز در حال افزایش می باشد.

## انواع ROV ها

سازندگان ROV سیستمهای خود را از لحاظ نوع مصرف به دو گروه داخل ساحلی و بیرون ساحلی تقسیم نموده اند [۱].

### الف- داخل ساحلی

منظور از داخل ساحلی دریاچهها، رودخانهها، سدها و قسمتهای ساحلی دریاها تا عمق ماکزیمم ۳۰۰ متر است. قیمت این نوع از ROVها، نسبت به سیستمهای مشابه در قسمت بیرون ساحلی، پایین تر است. بنابر آمارهای جهانی تنها در سال ۱۹۹۶، ۳۵ نوع در تعداد ۵۰۰ سیستم و توسط ۲۷ تولیدکننده معتبر ساخته شده است که این رقم در صنایع درون ساحلی ۲۵ درصد کل کاربرد ROV را تشکیل می دهد. تنوع قیمتها در مورد این گونه از ROVها زیاد بوده و بین ۲۰/۰۰۰ تا ۳۰۰/۰۰۰ دلار تغییر می نماید و این تفاوت قیمت به دلیل عمق تعریف شده و توانایی مانور و انجام وظایف مختلف برای ROV می باشد. این گونه از ROVها عمدتاً وظیفه مشاهده و یا جمع آوری اطلاعات را بر عهده دارند.

### ب- بیرون ساحلی

منظور از بیرون ساحلی دریاها و اقیانوسها و نواحی عمیق با عمق بیشتر از ۱۰۰۰ متر است. این دسته از ROVها که اغلب در صنایع نفت و گاز و در بخش حفاری استفاده می شوند دارای قیمتهای بسیار بالاتری نسبت به انواع آن در بخش داخل ساحلی هستند. قیمت این سیستمها از ۵۰۰/۰۰۰ دلار برای عملیات مشاهده در عمق ۱۰۰۰ متر و تا ۲ میلیون دلار برای عملیات مختلف مشاهده و حمل بار در عمق ۷۰۰۰ متر تغییر می نماید.



## کاربردهای ROV

ROV ها را می‌توان از لحاظ نوع کاربرد به دو نوع عمده تقسیم می‌شوند. یک نوع آنهايي که اساساً برای اهداف بازرسی و معاینه در زیر آب طراحی شده‌اند و دیگری آنهايي که جهت انجام فعالیتهای روباتیکی (مانند جایگذاری تجهیزات جوشکاری زیر آب) طراحی شده‌اند. همانطور که بیان گردید، از این وسایل بطور گسترده در صنعت، کارهای علمی و تحقیقاتی و مأموریت‌های نظامی استفاده می‌شود. چرا که با استفاده از آنها، ضمن کاهش قیمت عملیات، ایمنی نیروی انسانی افزایش می‌یابد. در کشور ما نیز استفاده زیادی از این وسایل، مخصوصاً در صنایع نفت و گاز می‌شود ولی متأسفانه در حال حاضر استفاده از آنها به صورت خرید یا اجاره از کشورهای خارجی می‌باشد. بنابراین با انجام این پروژه پژوهشی، ضمن انتقال دانش فنی طراحی و ساخت خودروهای کنترل از راه دور زیر آبی درون ساحلی، زمینه تحقیقات بیشتر و نوع آوری در این زمینه و ساخت نمونه‌های صنعتی مورد نیاز کشورمان فراهم گردیده است. به طور کلی کاربرد ROV ها را می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

### الف- کاربردهای صنعتی

تاکنون بیشترین کاربرد ROV ها در صنایع نفت و گاز بوده است. اما امروزه مصارف صنعتی آنها به این مورد ختم نمی‌شود. برای مثال می‌توان کاربردهای زیر را برای ROV های صنعتی ذکر کرد:

- ۱- بازرسی بدنه و سازه های زیرآبی سدها
- ۲- نصب، بازرسی و تعمیر لوله‌ها و کابل‌های زیردریایی
- ۳- جوشکاری زیر آب
- ۴- اندازه‌گیری ضخامت جداره لوله‌ها
- ۵- رنگ زدن سازه‌ها و لوله‌های زیردریا
- ۶- نصب آند و وسایل جلوگیری کننده از خوردگی
- ۷- نقشه برداری کف دریا برای یافتن مسیر مناسب برای جایگذاری لوله‌ها
- ۸- پاکسازی سازه‌ها از جانوران دریایی و خزها
- ۹- پاکسازی جرم از داخل لوله‌های بزرگ نیروگاهها و کارخانه‌ها
- ۱۰- لایروبی رودخانه‌ها و استخرهای بزرگ برخی کارخانه‌ها
- ۱۱- معاینه و بازرسی تجهیزات زیرآب
- ۱۲- بررسیهای زیست محیطی کف دریا و نمونه‌برداری
- ۱۳- اندازه‌گیری و بررسی لوله‌ها، تأسیسات و شرایط محیطی
- ۱۴- یافتن لاشه کشتیها و هواپیماها و بیرون آوردن برخی اجزای آنها
- ۱۵- بازرسی مدخل آب خنک‌کن‌ها و نیز محفظه‌ها و لوله‌ها در نیروگاه اتمی
- ۱۶- نقل و انتقال فرستنده‌ها و گیرنده‌ها
- ۱۷- نصب علائم و میله‌های راهنما



علاوه بر نصب لوله‌های انتقال نفت و گاز و کمک به عملیات حفاری، از ROV ها برای نگهداری و پاکسازی بدنه کشتیها و سازه‌های دریایی دیگر نیز بسیار استفاده می‌شود. این امر باعث افزایش عمر سازه‌های دریایی می‌گردد که از نظر ایمنی و اقتصادی حائز اهمیت است.

### ب- کاربردهای نظامی

اولین روباتهای زیرآبی توسط صنایع نظامی ساخته شده‌اند. در صنایع نظامی، به دلیل لزوم نداشتن کابل و شناور همراهی‌کننده و نیز داشتن شعاع عملیاتی بالا، بیشتر از AUV ها استفاده می‌شود. چند نمونه از کاربردهای روباتیکی زیر سطحی در این زمینه عبارتند از:

- ۱- کارگذاری و خنثی‌سازی مین
- ۲- بازرسی قسمتهای مختلف زیردریایی و کشتی
- ۳- تجسس
- ۴- بمب‌گذاری روی بدنه کشتی‌ها، زیردریایی‌ها، سکوه‌های نفتی و ...
- ۵- مختل کردن سیستم مخابراتی کشتیها

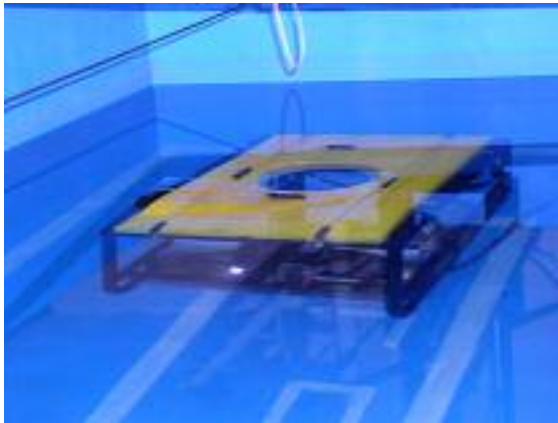
### ج- کاربردهای علمی و تحقیقاتی

امروزه روباتهای زیرسطحی دارای دوربینهای زیرآبی، جمع‌آوری اطلاعات زیست‌محیطی و زمین‌شناسی از اعماق دریاها را میسر کرده‌اند. چند نمونه از کاربردهای این وسایل در این زمینه عبارتند از:

- ۱- نمونه‌برداری از خاک برای تحقیقات زمین‌شناسی
- ۲- نمونه‌برداری از آب و گونه‌های گیاهی دریا برای بررسیهای زیست‌شناسی
- ۳- بررسی پستی و بلندیهای کف دریا برای ایجاد نقشه جغرافیایی
- ۴- فیلم‌برداری از موجودات دریایی
- ۵- نصب وسایل و تجهیزات اندازه‌گیری در کف دریا
- ۶- انجام آزمایش در اعماق آب

## طراحی و ساخت خودرو کنترل از راه دور زیر سطحی با عنوان ۱-SUTRO

از ابتدای سال ۱۳۸۰، انتقال دانش فنی طراحی و ساخت خودروهای کنترل از راه دور زیر سطحی جهت انجام فعالیتهای روباتیکی در زیر آب به عنوان یک پژوهش کاربردی در دانشگاه صنعتی شریف مورد توجه قرار گرفت. در این راستا مدل سازی، ساخت، شناسائی و کنترل یک نمونه ROV زیرآبی با عنوان ۱-SUTRO در دانشگاه صنعتی شریف آغاز گردید. هدف از ساخت این وسیله، ایجاد امکان حرکت صفحه‌ای در اعماق مختلف آب تا عمق ۲۰ متر و انجام فعالیتهای روباتیکی و پردازش تصویر در زیر آب تعریف شده است. برای این منظور، از چهار عدد تراستر، جهت حرکت ۱-SUTRO در جهات پیشروی (Surge)، جانبی (Sway)، عمقی (Heave) و دورانی (Yaw) استفاده شده است. همچنین بر روی وسیله یک دوربین زیرآبی نصب می‌گردد که امکان مشاهده محیط زیر آب را برای کاربر فراهم می‌نماید. در شکل ۱- می‌توانید نمائی از ۱-SUTRO را مشاهده نمائید. در ادامه به مروری اجمالی بر کارهای انجام شده جهت طراحی و ساخت ۱-SUTRO، می‌پردازیم [۲].



شکل ۲- نمایی از SUTRO-۱



شکل ۱- نمایی از SUTRO-۱

### مدلسازی SUTRO-۱ توسط نرم افزار Mechanical Desktop

با توجه به تجهیزات سیستم کنترلی شامل سیستم پردازش مرکزی و تبادل داده، سنسورها، منبع تغذیه، تراسترها و محرک آنها، مدلی از SUTRO-۱ در محیط Mechanical Desktop طراحی شد. در این مدل، چیدمان اجزاء مختلف طوری انجام گرفته است تا ضمن وزن و حجم کمتر وسیله، نکات زیر رعایت گردد:

۱- با توجه به آنکه SUTRO-۱ می بایست در جهات پیچ<sup>۱</sup> و رول<sup>۲</sup> به صورت غیرفعال<sup>۳</sup> پایدار باشد، می بایستی تا حد امکان مرکز شناوری وسیله بالای مرکز جرم آن قرار گیرد. در این حالت با دوران ROV در جهات پیچ و رول، گشتاور بازگرداننده‌ای از اثر متقابل وزن- شناوری بوجود آمده و وسیله را در حالت افقی، نگاه می‌دارد. در واقع هرچه این فاصله بیشتر گردد، پایداری و امکان حمل بار توسط بازو افزایش می‌یابد.

۲- مرکز جرم و مرکز شناوری می بایست تا حد امکان در راستای قائم و زیر هم قرار گیرند.  
۳- چیدمان اجزاء باید به گونه‌ای باشد که در ROV تقارن وجود داشته باشد. وجود سه صفحه تقارن عمود بر هم در وسیله باعث می‌گردد شناسایی، مدلسازی دینامیکی و کنترل آن ساده‌تر گردد. از نتایج این تقارن می‌توان امکان صرف نظر نمودن از مؤلفه‌های کوپلینگ در ممان اینرسی وسیله و اثرات ویسکوزیته سیال را نام برد.

۴- ROV بایستی در زیر آب تقریباً بی‌وزن باشد تا هنگام حرکت عمقی آن، نیاز به توان زیادی نباشد. در این حالت در SUTRO-۱ حدود (kg) ۰٫۵ وزن منفی در نظر گرفته شده است تا در صورت پدید آمدن مشکلی برای وسیله، بتواند خودبه‌خود بالا بیاید.

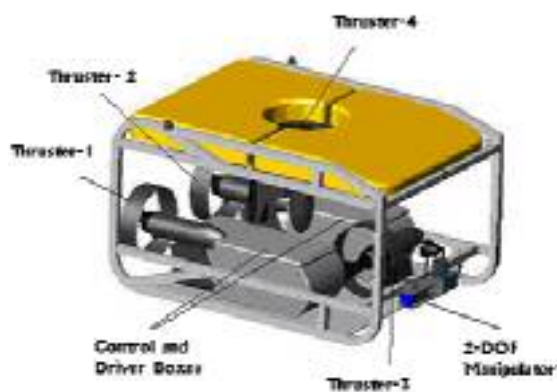
۵- در صورتیکه تراسترها، در صفحات گذرنده از مرکز جرم وسیله قرار گیرند، از تحریک دیگر درجات آزادی جلوگیری می‌شود.

<sup>۱</sup> - Pitch

<sup>۲</sup> - Roll

<sup>۳</sup> - Passive

برای مدلسازی وسیله، ابتدا ابعاد واقعی هر قسمت به صورت صلب رسم گردیده و سپس برای هر جسم، جنس آن معین شده است. پس از آنکه تمام اجزاء وسیله به صورت سه بعدی ترسیم گردیدند، مرکز جرم و مرکز شناوری که همان مرکز حجم وسیله می باشد، در مدل تعیین می شود. در مدل بدست آمده ضمن در نظر داشتن نکات فوق، با تغییر محل نصب اجزای مختلف، چیدمان مناسب آنها به صورت سعی و خطا بدست آمد. در نهایت مدل SUTRO-1 مطابق شکل زیر آمد:



شکل ۴- اجزای مختلف SUTRO-1 و محل نصب آنها در مدل نهایی



شکل ۳- مدل SUTRO-1 در محیط Mechanical Desktop

## ساخت SUTRO-1

با توجه به مدل بدست آمده از SUTRO-1 در محیط نرم افزار Mechanical Desktop، اجزای مختلف آن ساخته شد. جنس شاسی و جعبه ها از استیل و جنس بالاست از یونولیت، با لایه گذاری رزین اپوکسی و فیبر C-Glass ۶۰۰ گرمی می باشد. بازو، جعبه آب بندی سنسور زاویه و پایه سنسورها از آلومینیم خشک (قابل تراشکاری) هستند. جعبه های کنترلی به روش ورق کاری ساخته شده است. برای آب بندی آنها از Gasket و برای ورود و خروج سیمها در جعبه های کنترلی، از بوش های آب بندی که روی آنها جوش شده اند، استفاده شده است [۳].

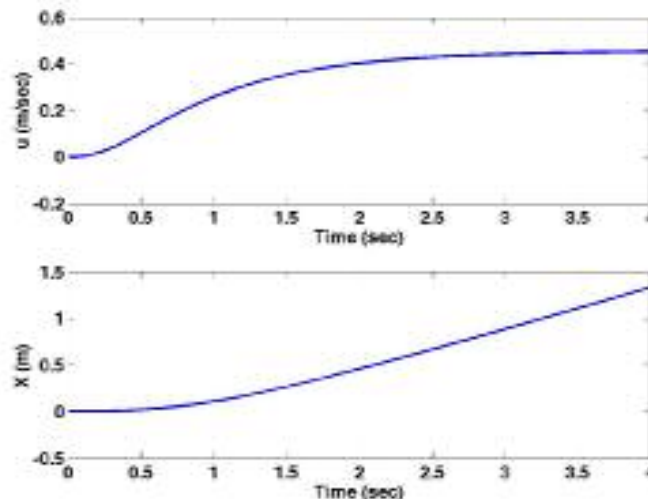
## شبیه سازی دینامیکی ROV

شبیه سازی دینامیکی ROV ها جهت آگاهی از چگونگی عملکرد سیستم و همچنین بهبود سیستم کنترلی طراحی شده، بسیار مورد توجه بوده است. در این راستا تاکنون از سه روش عمده استفاده شده است. اولین روش استفاده از الگوریتم نیوتن-اولر و بیان دینامیک سیستم با دسته ای از معادلات دیفرانسیل پارامتریک می باشد. به علت ماهیت غیرخطی و مفید و درجات آزادی بالای SOV های زیرآبی دارای بازوی روباتیکی، معمولاً این دسته



معادلات حرکت پیچیده و بزرگ می‌شوند. اما جهت شناسایی و همچنین طراحی الگوریتم‌های کنترلی بر مبنای مدل، ناچار به استفاده از این روش برای بیان معادلات دینامیکی سیستم می‌باشیم.

دو روش عمده دیگر استفاده شده در مراجع موجود، الگوریتم جسم صلب ترکیبی (CRB)<sup>۱</sup> و الگوریتم جسم مفصل‌بندی شده (AB)<sup>۲</sup> می‌باشد. هر دوی آنها در حقیقت یک الگوریتم عددی بازگشتی بوده که توسط آن، شتاب سیستم نسبت یک ورودی خاص، بدون مرتب نمودن معادلات پارامتریک کل مدل بدست می‌آید. در حقیقت دینامیک کل سیستم با حل زنجیره‌ای دینامیک جسم‌های صلب جداگانه در محیط آب و با اعمال شرایط مرزی در محل اتصال آنها بدست می‌آید. با استفاده از این دو روش می‌توان سرعت شبیه‌سازی دینامیکی را زیاد نمود. در این پروژه از دو روش الگوریتم AB و الگوریتم نیوتن-اویلر برای شبیه‌سازی دینامیکی SUTRO-۱ استفاده شده است [۲۴].



شکل ۵- پاسخ دینامیکی حوزه زمان مدل به ازای ورودی پله در جهت محوری (حرکت پیشروی) و با در نظر گرفتن اثر تراستر.

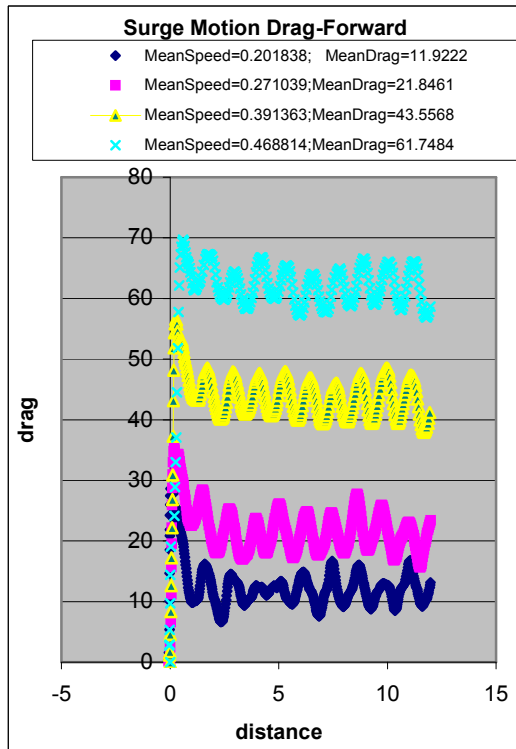
### شناسایی و محاسبه پارامترهای مدل دینامیکی SUTRO-۱

از آنجائیکه تاکنون مدل تحلیلی قابل قبولی برای اثرات هیدرودینامیکی وارده به ROVها بدست نیامده است، نیازمند شناسایی مدل دینامیکی SUTRO-۱ به صورت تجربی می‌باشیم. برای این منظور با استفاده از روش تانک کشش (Towing Tank) و همچنین ساخت یک دستگاه برای شناسایی تراستر، مدل دینامیکی SUTRO-۱ به صورت تجربی شناسایی گردیده است. در شکل ۶، SUTRO-۱ در حال عملیات شناسایی در تانک کشش نشان داده شده است [۵].

<sup>۱</sup> - Composite Rigid Body

<sup>۲</sup> - Articulated Body





شکل ۷- نمودار نیروی مقاوم وارده بر حسب فاصله طی شده از آزمایش کشش SROV در جهت حرکت روبه جلو

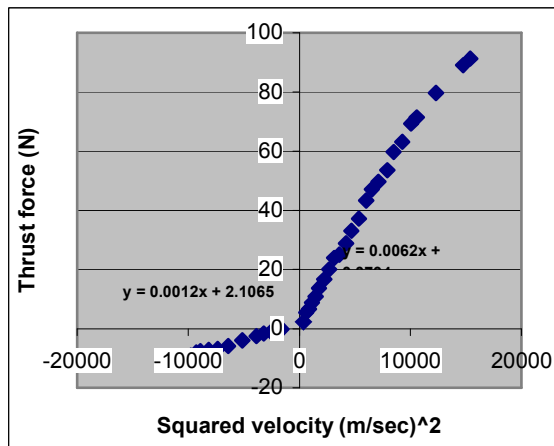


شکل ۶- نمایی از SUTRO-1 در تانک کشش برای شناسایی پارامترهای هیدرودینامیکی

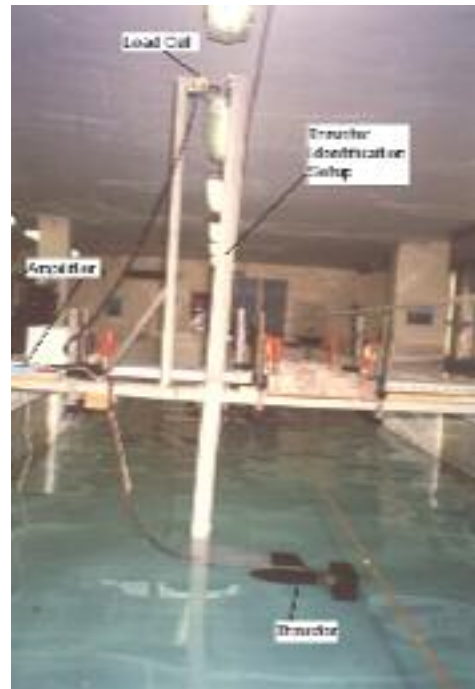
جدول ۱- جرم افزوده SROV

جهت حرکت	اینرسی	جرم افزوده
جلو	$m_v + X_{\dot{u},f} = 211/62$	$X_{\dot{u},f} = 42/52$
عقب	$m_v + X_{\dot{u},b} = 250/67$	$X_{\dot{u},b} = 81/57$
جانبی	$m_v + Y_{\dot{v}} = 276/05$	$Y_{\dot{v}} = 106/95$





شکل ۹- پاسخ حالت ماندگار تراستر



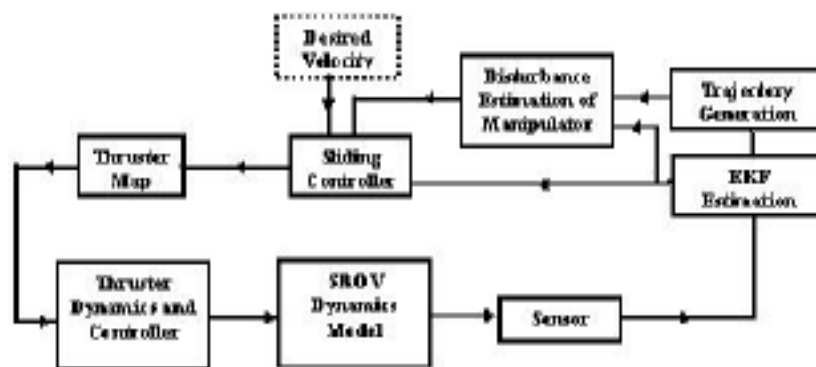
شکل ۸- نمایی از دستگاه شناسایی تراستر ساخته شده

جدول ۲- ضریب تراست

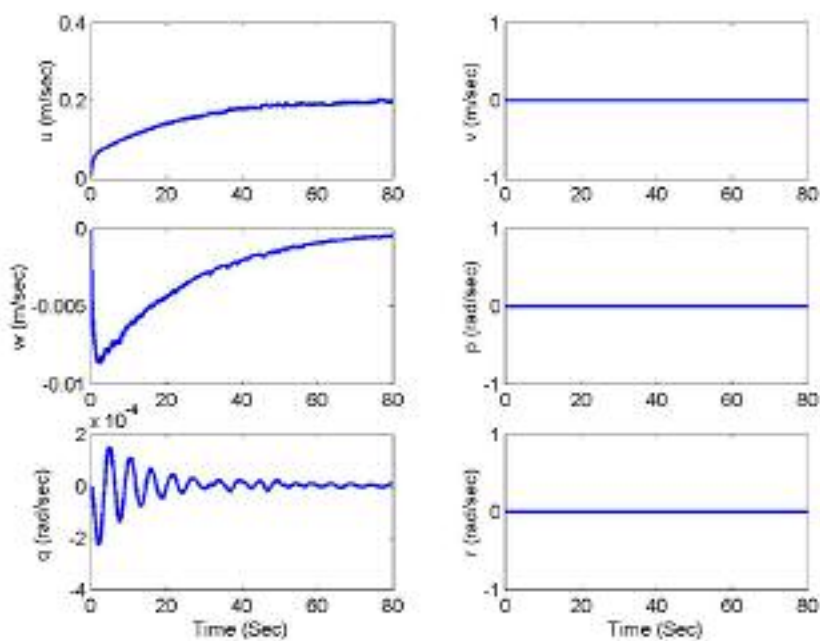
ضریب تراست $K_T$		
Backward	Forward	تراستر
۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۶۲	۱
۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۶۸	۲
۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۶۸	۳
۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۶۹	۴

## طراحی کنترلر ۱-SUTRO

در این بخش، با توجه به معادلات دینامیکی پارامتریک بدست آمده برای ۱-SUTRO، پارامترهای نامی شناسایی شده، تئوری کنترل مقاوم مود لغزشی چند ورودی - چند خروجی غیرخطی و الگوریتم، تخمین گر EKF، کنترلر مقاوم مود لغزشی برای کنترل سرعت ۱-SUTRO طراحی گردید. ضمن آنکه سیستم سخت افزار و نرم افزار کنترلی بر اساس تئوری نمونه سازی سریع (Rapid Prototyping) و امکان اعمال آن در محیط نرم افزار MATLAB انتخاب گردید [۶].



شکل ۱۰- ساختار سیستم کنترلی ROV ساخته شده



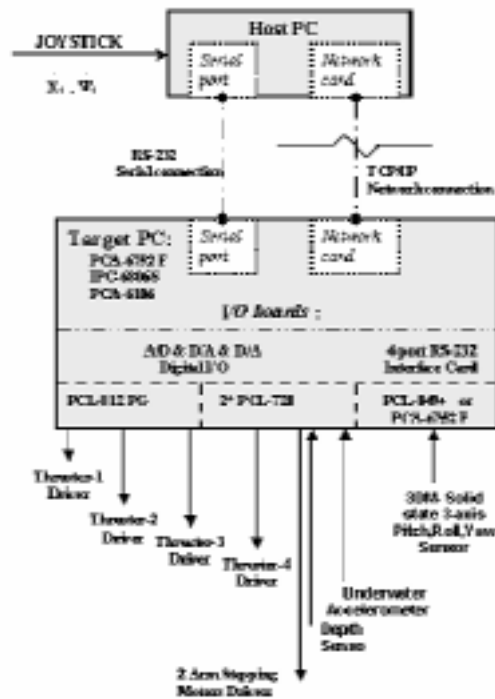


شکل ۱۱- پاسخ حوزه زمان حالت مدل دینامیکی SROV با ورودی مطلوب  $(\frac{m}{s}) \cdot 0.2 = u_d$  به سیستم کنترلی

### ساختار و مشخصات سخت افزاری سیستم کنترل و تبادل داده :

به طور کلی می توان بخش سخت افزاری سیستم کنترلی ۱-SUTRO را شامل کامپیوتر پردازش مرکزی، کامپیوتر کاربر، کارت های تبادل داده<sup>۱</sup>، عملگرهای سیستم کنترلی، محرک<sup>۲</sup> عملگرهای سیستم کنترلی، سنسورهای ناوبری و منابع تغذیه دانست. در نمودار بلوکی شکل-۱۲ می توانید بخش های مختلف سخت افزار سیستم کنترلی و چگونگی ارتباط آنها را ملاحظه نمائید. برای اجرای زمان حقیقی الگوریتم سیستم کنترلی و نمونه برداری از خروجی سنسورهای سیستم ناوبری، بسته نرم افزاری MATLAB xPC Target انتخاب گردید. جهت اطلاع از نحوه عملکرد این سیستم عامل زمان حقیقی می توانید به مدارک ضمیمه مراجعه نمائید. برای تبادل داده مابین سیستم پردازش مرکزی روی ۱-SUTRO و کامپیوتر کاربر (فاصله حدود ۳۰ متر)، از شبکه محلی با پروتوکل TCP/IP استفاده می کنیم. با پیاده سازی کد C و فایل اجرایی Target از مدل کنترلر در محیط Simulink، توسط بسته نرم افزاری MATLAB Real Time Workshop از کامپیوتر کاربر (Host PC) به کامپیوتر پردازش مرکزی (Target PC)، می توان ضمن اجرای زمان حقیقی الگوریتم کنترلی روی Target PC از طریق کارتهای I/O با محیط سخت افزاری سیستم کنترلی تبادل داده نمود. در این حالت، با استفاده از xPC Target Toolbox می توان به فرستادن فرامین از Joystick و مشاهده داده ها بر روی کامپیوتر کاربر پرداخت.

<sup>۱</sup>Data Acquisition Cards  
<sup>۲</sup>Driver



شکل ۱۲- نمودار بلوکی از سخت افزار سیستم کنترل ۱-SUTRO

## نتیجه گیری

امروزه، کاربرد خودروهای کنترل از راه دور زیرآبی (Underwater ROV) در انجام فعالیتهای مختلف رباتیکی در زیر آب، که انجام آنها توسط نیروی انسانی خطرناک یا گاهی غیرممکن می باشد، بسیار گسترش یافته است. در این راستا SROV به عنوان یک خودرو کنترل از راه دور زیرآبی که مجهز به یک دوربین زیرآبی می باشد، قادر است ضمن پرداختن به امور بازرسی و ارسال تصاویر از زیر آب تا عمق ۲۰ متر، به انجام اعمال رباتیکی بپردازد. در این راستا با توجه به دانش فنی بدست آمده از نمونه آزمایشگاهی مذکور، طراحی و ساخت یک نمونه ROV صنعتی با قابلیت بازرسی تا اعماق ۳۰۰ متر زیر آب شروع گردیده است. با توجه به کاربرد و مشکلات موجود در این عمق مانند آب بندی، تبادل داده، ناوبری، مقاومت در برابر فشار و ...، امید است با تکمیل این پروژه، در زمینه طراحی و ساخت ROVهای بازرسی به خودکفائی برسیم.

## مراجع



[۱] Yuh, J., "Underwater Robotics", Proceeding of the ۲۰۰۰ IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp ۹۳۲-۹۳۷, April ۲۰۰۰

[۲] ح. برهان، "مدل سازی، کنترل و شناسایی یک خودرو کنترل از راه دور زیر آبی (UROV) مجهز به یک بازوی رباتیکی" پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی مکانیک، سال تحصیلی ۸۰-۸۱

[۳] مهدی باقری، سید سلمان اخوت و امیر لطفی، "طراحی و ساخت ربات زیرسطحی-ROV"، پایان نامه دوره کارشناسی، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی مکانیک، سال تحصیلی ۸۰-۸۱

[۴] ح. برهان، غ. وثوقی، ع. مقداری، مدل دینامیکی و طراحی کنترلر مود لغزشی برای یک وسیله کنترل از راه دور زیر آبی همراه با یک بازوی دو درجه آزادی، یازدهمین کنفرانس و هفتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی مکانیک، مشهد، ۱۱۲۳-۱۱۳۳، اردیبهشت ۱۳۸۲

[۵] حسین برهان، غلامرضا وثوقی، محمد حسین ثقفی، "شناسایی تجربی مدل دینامیکی یک خودرو کنترل از راه دور زیر آبی (UROV)"، دوازدهمین کنفرانس و هشتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی مکانیک، تهران، اردیبهشت ۱۳۸۳

[۶] G.R. Vossoughi, A. Meghdari and H. Borhan, "Dynamic Modeling and Robust Control of an Underwater ROV Equipped with a Robotic Manipulator arm", *۱۰<sup>th</sup> biennial symposium on Flexible Automation*, Colorado USA, July ۱۹-۲۱, ۲۰۰۴.