امکانسنجی و تحلیل آزمایشگاهی حرکت انتقالی SPM تحت اثر برخورد موج منظم به روش سیستم پردازش تصویر سه بعدی

سیدمرتضی مرعشیان^۱ ، مهدی عجمی^۲* ، تقی علیاکبری^{۳،٤}

^۱ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود؛ morteza.marashian@shahroodut.ac.ir ۲ استادیار، گروه مهندسی آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود؛ adjami@shahroodut.ac.ir ۳ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب و محیط زیست، دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود ؛ aliakbari_taghi@yahoo.com ۴ آزمایشگاه ملی دریایی ایران؛ aliakbari_taghi@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیدہ
<i>تاریخچه مقاله:</i>	سیستم مهاربند تک نقطهای یا به اختصار SPM همانطور که از نام آن مشخص است، با وجود ابعاد کوچک،
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۲۷	امکان مهاربندی شناورهای بزرگ را فراهم میکند. این در صورتی است که شناور امکان چرخش ۳۶۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۰۵	درجهای به دور SPM را دارد. همچنین SPM به عنوان تاسیسات فراساحلی جهت بارگیری یا تخلیه نفت
<i>کلمات کلیدی:</i>	در دریا استفاده میشود. به طور کلی تامین ایمنی شناور مهار شده به SPM و امکان اتصال و انتقال نفت
پردازش تصویر	به آن حائز اهمیت است. در این مطالعه با امکانسنجی روش پردازش تصویر سهبعدی به ارزیابی حرکت
موشن کپچر	انتقالی SPM پرداخته میشود. این حرکت انتقالی شامل Surge، Surge و Heave میباشد. به منظور
SPM	اطمینان از نتایج بررسی حرکت انتقالی SPM ، صحتسنجی انجام شده است. در ادامه با ساخت SPM
حرکت انتقالی	در شرایط موج منظم، حرکت انتقالی آن بدست آمده است. نتایج نشان دهنده کارایی پردازش تصویر، در
تست آزمایشگاهی	ارزیابی حرکت انتقالی SPM است.

Feasibility and Experimental Analysis of SPM Translational Motion under the Effect of Regular Wave Using the 3D Image Processing System

Seyed Morteza Marashian¹, Mehdi Adjami^{2*}, Taghi Aliakbari^{3,4}

¹ MSc, Water and Environmental Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology; morteza.marashian@shahroodut.ac.ir

² Assistant Professor, Water and Environmental Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology; adjami@shahroodut.ac.ir

³ Ph.D. student, Water and Environmental Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology; aliakbari_taghi@yahoo.com

⁴ National Iranian Marine Laboratory; aliakbari_taghi@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article History: Received: 16 Apr. 2019 Accepted: 27 Jul. 2019

Keywords: Image Processing Motion Capture SPM Translational Motion Experimental Test

ABSTRACT

Single point mooring terminals are, as the name implies, facilities of small horizontal dimensions, to which large vessels are moored by means of a bow hawser or by any other means which allows the vessel to rotate 360 around the mooring point. Generally, the single point mooring terminal can have two functions. Primarily, it affords a safe mooring to the vessels. Secondly, it can form a link in the chain for the transport of oil. In this study, with the feasibility of 3D image processing, the SPM translational motion is evaluated. This translational motion includes Surge, Sway, and Heave. In order to ensure the results of the analysis of SPM translational motion, verification is carried out. In the following, by constructing SPM and situating it in reaction condition with regular wave, translational motion is obtained. Finally, the results indicate that image processing is acceptable in translational motion assessment of SPM.

۱ – مقدمه

شــناورها و سـازههای دریایی بهطور پیوســته در معرض نیروهای حاصـل از باد، امواج، جریان و طوفانهای ســنگین قرار دارند. این عوامل منجر به وارد شـدن انواع نیروها به سـازه و تغییر مکان آنها می شود. اهمیت نیروهای وارد شده سبب شده است که بسیاری از سازههای دریایی با در نظر گرفتن ضرایب ایمنی بالا طراحی شوند که این مو ضوع باعث هدر رفتن سرمایه و زمان می شود. به همین دلیل علاوه بر تحلیلهای عددی، سـاخت مدل آزمایشـگاهی برای شناسایی رفتار سازه توصیه می شود.

با اندازه گیری دقیقتر تغییر مکان ها و نیرو های وارد بر سازه در تستهای فیزیکی تحت بارهای محیطی میتوان هزینههای طراحی و ساخت را کاهش داد. در طول دهههای گذشته تحقیقات زیادی در مورد روش های ا ندازه گیری دقیق تغییر مکان سےازه ها در تستهای آزمایشگاهی انجام شده است. در گروهی از این تحقیقات، از حس گرها مانند حس گر شـتابسـنج، کرنشسـنجها، و GPS استفاده شده است. این ابزارها دارای معایبی ازجمله مشکلات نصب، کالیبراسیون، نگهداری هستند. در دهه اخیر پردازش تصویر در اکثر ر شتهها و علوم استفاده شده است. ازجمله می توان به کاربردهای نظامی، پز شکی، صنعتی، ورز شی و ... ا شاره کرد. در این مطالعه با استفاده از پردازش تصویر ۲ به بررسی و تحلیل حرکت انتقالی Sway ،Surge و Heave و Meave شامل Sway ،Surge و SPM شرایط آزمایشگاهی پرداخته می شود. تغییر مکان اجسام را میتوان با دو روش مکانیکی و الکتریکی بهدست آورد. در روش مکانیکی با استفاده از صوت تغییر مکان تشخیص داده می شود. در روش الکتریکی با استفاده از اینفرارد^۴، ابزار های نوری (دوربین و فیلم برداری)، امواج رادیویی^۵، ارتعاشات⁹ و مغناطیس^۷ جابجایی به دست آورده می شود. در این مطالعه از روش الکتریکی با استفاده از ابزارهای نوری استفاده شده است. در ادامه به صورت مختصر به تعريف سازه ی SPM و روش پردازش تصوير پرداخته شده است. شکل ۱ نمایی شماتیک از SPM را نشان میدهد.



شکل ۱ – نمایی شماتیک از SPM و شناور هنگام انتقال نفت

SPM -1-1

سیستم مهاربند تک نقطه ای علاوه بر ابعاد کوچک، شرایط مهاربندی شناور های بزرگ را فراهم می کند. این در حالی است که شریناور توا نایی چرخش ۳۶۰ در جه ای به دور SPM را دارد.

همچنین از دیگر کاربردهای SPM میتوان به تاسیسات فراساحلی جهت بارگیری یا تخلیه نفت در دریا اشاره کرد. با توجه به کاربری بیان شده، تامین ایمنی شناور مهار شده به SPM و امکان اتصال و انتقال نفت به آن حائز اهمیت است [۱]. شکل ۲ نمایی از SPM و شناور را نشان می دهد. در این شکل مهار شناور به SPM و خطوط انتقال نفت مشخص شده است.



شکل ۲ – نمایی از SPM و شناور به همراه خطوط انتقال نفت و مهاربندی [۲]

۲-۱- پردازش تصویر

پردازش تصویر به طور کلی، به برر سی تصاویر و استخراج داده از آن گفته می شود. پردازش تصویر بدون توجه به محتوای تصاویر انجام می شود و پردازش به صورت پیکسل به پیکسل صورت می گیرد. در این مطالعه برای بدست آوردن حرکت انتقالی SPM از موشن کپچر^ استفاده شده است که روشی برای پردازش و ارزیابی حرکات شی متحرک^۹ و ارائه آن در مختصات سه بعدی است [۳]. امکان رصد دامنه حرکات نامحدود شی مورد بررسی، از مزایای مو شن کپچر است. برای ردیابی تحرکات شی، به دو بخش سخت افزاری و نرم افزاری نیاز است. بخش سخت افزاری شامل دوربین و مارکرها می با شند و بخش نرم افزاری شامل نرم افزار مورد استفاده است.

۲- مطالعات انجام شده

در این بخش به معرفی مطالعات صورت گرفته در زمینه موشن کپچر پرداخته خواهد شد. استفاده از موشن کپچر در ارزیابی ورزشی و تحرکات انسانی کاربرد فراوانی دارد. از این رو سعی شده است تا موارد مطرح شده در این قسمت، بیان کننده کاربرد موشن کپچر در ارزیابی تحرکات سازه و شناورهای دریایی باشد. کرکنی و همکاران (۲۰۱۴)، شبیه سازی حرکت کشتی درون حوضچه به هنگام عبور از یخ را مورد برر سی قرار دادند. در برر سی حرکات کشتی به صورت تحلیل زنده ۱۰ از مو شن کپچر استفاده شده است. بهرهمندی از ۴

دوربین و ۴ مارکر را میتوان به عنوان بخشی از سیخت افزار موشن کپچر دانست. شکل ۳ نمایی از شرایط آزمایشگاهی را نشان می دهد. تامین کننده بخش سیخت افزاری و نرمافزاری شرکت کوالیسیس^{۱۱} می باشد و نتایج حاکی از دقت قابل قبول ارزیابی ۶ درجه آزادی شناور با استفاده از این روش بوده است [۴].



شکل ۳ – چیدمان دوربینها و مارکر برای شبیه سازی حرکت شناور درون یخ [۴]

مقیم و همکاران (۲۰۰۹)، با هدف بررسی مکانیسم جریان در داخل و خارج موج شکن سکویی شکل پذیر، دست به انجام آزمایش در فلوم موج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی زدند. بررسیها در این آزمایشات به صورت مدل دو بعدی با تزریق ماده رنگی و فیلم برداری از آن صورت گرفت فیلم برداری از الگوی جریان در داخل و خارج موج شکن سکویی شکل پذیر، تو سط دوربین انجام شده است. به منظور تزریق مواد رنگی هنگام آز مایش و همچنین کنترل تزریق حین آز مایش، از شلنگ های سفید رنگی ا ستفاده گردید. م شاهده گردید که با تزریق ماده سفید رنگی در طول پایینروی موج؛ قسمت عمده جریان تراو شی در پایین ترین تراز حین پایینروی رخ می دهد [۵]. شکل ۴ نشان دهنده ادوات تصویر برداری حین آزمایش است و شکل ۵ خروج مواد رنگی هنگام آزمایش را نشان می دهد.



شکل ۴ - موقعیت قرارگیری دوربین ضد آب شده و نمایی از شلنگ های تزریق رنگ حین تست [۵]



شکل ۵ – جهت حرکت ماده تزریقی سفید رنگ در هنگام بیشترین تراز پایینروی موج برخوردی به سازه [۵]

توفا و همکاران (۲۰۱۴)، به بررسی گردابههای ایجاد شده در اثر حرکات رایزر^{۱۲} در حوضیچه کششش پرداختند که جریان موجود باعث ایجاد گردابه در اطراف رایزر شد. در این آزمایش از سیستم پردازش تصویر شرکت کوالیسیس برای اندازه گیری پارامترهای تست VIVتا استفاده شد [۶]. در شکل ۶ نمایی از مارکر نصب شده روی رایز آورده شده است.



شکل ۶ – مارکر روی رایزر برای سیستم پردازش تصویر کوالیسیس [۶]

یانگ و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی رشد ترک در پایهی بتن آرمهای پل تحت اثر بارهای ناشی از امواج و عبور و مرور وسیایل نقلیه پرداختند. با استفاده از دو دوربین و کد نویسی به زبان متلب و سیپلاس رشد ترک را در پایههای پل اندازه گیری کردند و قبل از رسیدن به حالت بحرانی ترکخوردگی آن را پیشبینی کردند [۷]. در شکل ۷ نمایی از پایه بتن آرمه پل قابل مشاهده است.



شکل ۷ - تصاویر دو دوربین نصبشده برای بررسی رشد ترک [۷]

نوکرینو و همکاران (۲۰۱۵)، به بررسی و مقایسه شـش درجهی آزادی به دست آمده بر روی شناور صیادی در حو ضچه کشش با استفاده از سه دوربین پرداختند. در این آزمایش از دوربین سونی و نرمافزار شرکت آستارلیس^{۱۴} برای به دست آوردن شش درجه آزادی استفاده شـد [۸]. شـکل ۸ موقعیت دوربین ها شـناور را نشـان میدهد. همچنین شکل ۹ نشان دهنده نتایج ارائه شده از جابجایی مرکز ثقل شناور در سه راستای ۲، ۷ و ۲ است.



شکل۸ – قرارگیری دوربین ها نسبت به شناور در آزمایش Nocerino و همکاران [۸]



شکل ۹- نتایج جابجایی مرکز ثقل شناور صیادی در سه راستای y ،x و z [۸]

ژاو و همکاران (۲۰۱۵)، به بررسی اندرکنش دو جسم شناور نزدیک به هم پرداختند. دو جسم صلب شناور با فاصله متغیر از هم در برابر امواج مختلف قرار داده شده و ROA^{۱۵} مربوط به تاثیرات اندرکنش هیدرودینامیکی میان آنها با استفاده از مو شنکپچر به د ست آمد. برای تحلیل تصاویر از سیستم پردازش تصویر شرکت کوالیسیس استفاده شد [۹]. شکل ۱۰ نمایی از موقعیت دو شسناور را در حوضچه کشش نشان میدهد.



شکل ۱۰ – نمایی از دو جسم صلب در نزدیکی یکدیگر دو حوضچه کشش [۹]

هی و همکاران (۲۰۱۷)، تولید برق با استفاده از امواج در موج – شکنهای شناور را بررسی کردند. در این تحقیق برای به دست آوردن سه درجه آزادی موج شکن شناور در اثر امواج، از دو دوربین اینفرارد و سیستم پردازش تصویر شرکت کوالیسیس استفاده شد [۱۰]. در شکل ۱۱ نمایی از موجشکن شناور و مارکرهای نصب شده بر روی آن قابل مشاهده است.



شکل ۱۱ – نمایی از موجشکن شناور به همراه مارکرها و دوربین اینفرارد [۱۰]

توجه به مطالعات انجام شده نشان میدهد که با استفاده از موشن کپچر میتوان تحرکات سازهها و شناورهای دریایی را ارزیابی کرد. این ارزیابی در تعیین دامنه مجاز تحرکات شع و بررسی جابجایی آن در شرایط آزمایشگاهی مختلف کاربرد دارد. در این مطالعه با بدست آوردن حرکات انتقالی SPM تحت امواج منظم به تفسیر، تحلیل و امکان سنجی این روش پرداخته می شود. همچنین در ادامه شرایط سختافزاری و نرمافزاری در موشن کپچر بیان خواهد شد.

۲- روششناسی مطالعات

عکس دیجیتال را می توان با سیگنال دوبعدی I(x,y) نمایش داد، به طوری که x و y مقادیر گسسسته مربوط به تعداد سلولهای عمودی و افقی است که از عکس حقیقی ساخته می شود. هر سلول درون عکس از یک نقطه که پیکسل نامیده می شود، تشکیل می شود. هر پیکسل نشان دهنده ی کوچک ترین واحد همگن^۹ می شود. هر پیکسل نشان دهنده ی کوچک ترین واحد همگن^۹ یکس دیجیتال است. وقتی گفته می شود یک عکس دیجیتال M پیک سل عرضی و N پیک سل طولی دارد به این معنا ست که عکس دارای M ستون و N ردیف از سلولها با تعداد کل N × M سلول است. هر پیسکل درون عکس دیجیتال یک مقدار گسستهای را ارائه می دهد که نشان دهنده مقدار روشنایی دریافت شده توسط سنسور دوربین است [۱۱].

برای تحلیل حرکت اجسام، دنبال کردن و پیدا کردن شش درجه آزادی اجسام در حال حرکت، نرم افزارهای متفاوتی به صورت تجاری تولید شدهاند. هریک از شرکتهای ارائه دهنده این خدمات علاوه بر ارائه بسته نرمافزاری، خدماتی همچون فروش دوربینهای مناسب، المان کالیبراسیون و مارکرها را نیز انجام میدهند. متداول ترین روش مورد استفاده در بازسازی سه بعدی تصاویر، استفاده از روش تبدیل خطی مستقیم (DLT)^{۱۷} است. این روش به مکان دوربین ها و وضعیت قرارگیری که نسبت به هم دارند، وابسته نیست. به همین دلیل در انتخاب مکان دوربین ها انعطاف پذیری بالایی وجود دارد. همچنین این روش رابطهی خطی بین تصاویر دوبعدی را مشخص میکند [17].

در این مطالعه برای ردیابی تحرکات SPM بر روی آن سه مارکر نصب شده است. این مارکرها به رنگ سفید و در زمینه مشکی انتخاب شدهاند. برای ارزیابی سه بعدی تحرکات حداقل به دو دوربین نیاز است. بهطوری که محورهای نوری دوربینها به صورت متقاطع با زاویه ۹۰ درجه عمود بر یکدیگر باشند. از دیگر ملزومات فیلمبرداری، همزمان سازی تصاویر است که این کار بوسیله کنترل دوربین و کابل متصل به دو آنها قابل انجام است [۱۳].

روش استاندراد برای تحلیل سهبعدی، ثابت بودن دوربینها در طول تصویربرداری است. به این منظور لازم است از پایه و یا وسایلی دیگر برای ثابت نگهداشتن دوربینها استفاده نمود. باید دقت شود که مارکرها حتما در طول تصویربرداری حداقل از دو دوربین دیده شوند. قرارگیری نامناسب دوربینها و دیده نشدن مارکرها باعث بروز خطا و یا از دست رفتن اطلاعات خواهد شد [11].

مربر این مطالعه از تصویر ضبط شده^{۱۸} برای تحلیل و برای همزمان سازی فیلم برداری از کنترل استفاده شده است. شکل ۱۲ نشان دهنده موقعیت دوربینها نسبت به یکدیگر و محدوده مورد بررسی است.



شکل ۱۲ – نمایی از نحوه قرارگیری دوربینها نسبت به یکدیگر در بررسی سه بعدی تحرکات [۱۳]

ت صویربرداری تو سط دو دوربین قابل ر صد با شند. برای تامین نور محیط فیلمبرداری از دو نورافکن استفاده شده است. تعداد نورافکن بستگی به شرایط محیطی و تعداد مارکرها دارد. تصویر برداری بوسیله دوربین (Gopro (Hero5 انجام گرفته است. این دوربین با مشخصات حداکثر رزولیشن ۴۰۰۰ × ۳۰۰۰ ، اندازه سنسور ۶/۱۷ × ۴/۵۵ میلیمتر، نوع سنسور CMOS، سرعت عکاسی تا ۳۰ فریم بر ثانیه، کیفیت فیلم برداری ۴k تا ۳۰ فریم بر ثانیه می باشد و قابلیت تثبیت کنندگی فیلم را داراست. در این مطالعه به منظور پیدا کردن حرکات انتقالی SPM از نرم افزار اســکیل اســپکتور^{۱۹} (Video4coach) استفاده شده است. که به و سیله آنالیز تصاویر SPM حین آزمایش و دنبال کردن تحرکات مارکرهای نصب شده بر روی آن، میزان جابجایی در سه راستای y ،x و z را به عنوان خروجی ارائه میدهد. به منظور اطمینان از نتایج بدست آمده از نرم افزار، ابتدا صـحتسبنجی نرم افزار انجام شـده اسبت. برای صحت سنجى نياز به ساخت المان كاليبراسيون است. در ادامه روند ساخت المان كاليبراسيون و صحتسنجي نرمافزار توضيح داده شده

۳- برپایی مدل آزمایشگاهی

پردازش تصویر SPM در آزمایشگاه ملی دریایی ایران با فلوم موج مجهز به موجساز پیستونی، انجام شده است. عمق آب فلوم برابر با ۴ متر و دستگاه موجساز توانایی ایجاد موج تا ارتفاع ۵۰ سانتی متر را داراست. طول فلوم موج ۲۰۰ متر و عرض آن برابر ۶ متر است. باتوجه به استقرار صفحات مشبک جاذب موج در انتهای فلوم، بخش قابل توجهی از انرژی موج در بخش انتهایی مستهلک خواهد شد. شکل ۱۳ نمایی از موج منظم تولید شده در فلوم را نشان میدهد.



شکل ۱۳ - موج منظم تولید شده توسط موجساز در فلوم آزمایشگاهی

Centenary Anchor Leg از نوع SPM ازمایشگاهی Mooring (CALM) با مقیاس ۱:۱۰، برابر قطر ۱/۳۶ متر و ارتفاع

مخزن ۲۵ /۰ متر می باشد. متریال ساخت SPM شامل ورق فولادی به ضخامت ۱ میلیمتر و لوله پلی اتیلن با دانسیته بالا^{۲۰} می با شد. حجم مخزن سازه برابر با ۵۰۰ لیتر و وزن SPM پس از ساخت ۱۲۰ کیلوگرم می باشد و مدت زمان آزمایش ها ۶۰ ثانیه می باشد. تعداد ۶ کابل از جنس سیم بوکسل فولادی به قطر ۲ میلیمتر به کف SPM (پایین تر از تراز آب) متصل شده است. طول هر کابل از محل اتصال تا کف فلوم آزمایشگاه ۶ متر می باشد. لازم به ذکر است که درفت^{۲۱} ۱۰ سانتیمتر و فری برد^{۲۲} ۲۵ سانتیمتر است. همچنین SPM در فا صله ۱۰۰ متری از موج ساز واقع شده است و شرایط مربوط به موج آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ – مشخصات موج در شرایط آزمایشگاهی

موج	ارتفاع موج [m]	پريود [s]
منظم	•/10	• 88

شکل ۱۴، SPM به همراه مارکر سفید رنگ که با یک زمینهی مشکی روی آن نصب شدهاند را نشان میدهد. علت نصب مارکرها بر روی زمینه مشکی این است که علاوه بر تمایز رنگی بین سفید و مشکی، هنگام ردیابی مارکرها توسط دوربینها گم نشوند. برای این منظور از پنج مارکر سفید با زمینه مشکی استفاده شده است. لازم به ذکر است، تنها سه مارکر در میدان دید دو دوربین قرار داشتند و در نتیجه جابه جایی مربوط به سه مارکر مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است.



شکل۱۴- نقاط مارکر سفید رنگ با زمینه تیره نصب شده بر برروی SPM (تصویر بالا) و نمایی از قرارگیری دو دوربین و پروژکتور هنگام تصویر برداری از SPM (تصویر پایین)

در شــکل ۱۵ نحوهی مهار کردن SPM توسـط ۶ وزنه بیسـت کیلوگرمی و به آباندازی SPM به همراه موقعیت دوربینها نشـان داده شده است. مهاربندی مدل آزمای شگاهی از نوع کاتانری است که این وزنه ها به وسیله ۶ سیم بکسل به کف فلوم فرستاده شدند تا از حرکت های بیش از اندازه SPM هنگام آزمایش جلوگیری شود.



شکل ۱۵ – نحوهی مهار کردن SPM (تصویر بالا) و وضعیت قرارگیری دوربینها نسبت به SPM (تصویر پایین)

۱-۳- کالیبراسیون

در این بخش ابتدا به معرفی و بیان نحوه ساخت المان کالیبراسیون پرداخته می شود. پس از تشریح روند ساخت المان کالیبراسیون به معرفی ادوات صحت سنجی و نتایج بد ست آمده از آن پرداخته می شود.

۲-۳- ساخت المان کالیبراسیون سه بعدی

برای به دست آوردن رابطهای بین مبدا مختصات دو بعدی تصاویر با مبدا مختصات سه بعدی دنیای حقیقی، باید یک جسم سه بعدی با مجموعهای از نقاط کنترلی که مختصات آن ها در مبدا حقیقی مشخص است، انتخاب شوند. برای این موضوع معمولا از المان کالیبراسیون^{۳۳} با ابعاد مشخص که روی آن از مارکرها قابل رویت هستند، استفاده می شود. حداقل تعداد نقاط کنترلی لازم برای باز سازی مبدا مختصات سه بعدی حقیقی، ۶ نقطه غیر هم صفحه می باشد [17]. در این بخش ابتدا نحوه ی ساخت المان کالیبراسیون

توضیح داده میشود. سپس نحوه ی چید مان دوربین ها و صحت سنجی نتایج پرداخته شده است. هرچقدر المان کالیبراسیون به فضای حرکتی و شیء موردنظر شبیهتر باشد، نتایج بدست آمده از دقت بالاتری برخوردار است. به منظور صحت سنجی از مکعب تو خالی ۴۰×۴۰×۲۰ سانتیمتری با گویهایی با فاصله ۱۰ سانتیمتر به عنوان نقاط کنترلی استفاده شده است. برای اضلاع این مکعب از میله فلزی به قطر ۶ میلیمتر استفاده شده است. اضلاع این مکعب از کالیبراسیون با استفاده از دستگاه برش، نشان داده شده در شکل ۹ برش داده شـدهاند. بعد از برش میله های فلزی با دقت میلیمتر توسط این دستگاه، نیاز به وصل کردن اضلاع است. برای اتصال این میلهها از مکعبهایی با ابعاد ۵/۲×۵/۵×۵/۵ سانتیمتر استفاده شده میلهها از مکعبهایی با ابعاد ۵/۲×۵/۵×۵/۵ سانتیمتر استفاده شده قطعه سه حفره با قطر ۶ میلیمتر و عمق یک سانتیمتر ایجاد شده تاست.



شکل ۱۶ – دستگاه برش مورد استفاده برای برش میله های المان کالیبراسیون سه بعدی (تصویر بالا) و پرینتر سه بعدی در حال پرینت اتصالات اصلی المان کالیبراسیون سه بعدی (تصویر پایین)

همچنین در شکل ۱۷ می توان میلههای برش داده شده به همراه اتصالات تهیه شده را مشاهده کرد.



شکل ۱۷ - نمایی از میله های مورد استفاده در ساخت المان صحت سنجی سه بعدی پس از برش (تصویر بالا) و قطعات پرینت شده برای اتصالات المان کالیبراسیون سه بعدی (تصویر پایین)

برای اتصال میله به صورت قائم در محل مکعب ابتدا یک تخته ابزار چوبی برای گونیا کردن میله ها ساخته شد. همان طوری که در شـکل ۱۸ دیده میشود؛ در هر سـه جهت، چوب هایی به صورت عمود بر هم قرار داده شدهاند. با استفاده از این موضوع میتوان در هر سه راستای فضایی از عمود بودن میله ها برهم، اطمینان حاصل نمود. به منظور مدرج کردن اضـلاع المان کالیبراسـیون از نقاط کنترلی به صورت گوی های فلزی رنگ شـده به قطر ۱۲ میلی متر استفاده شده است. این گوی ها با استفاده از آهن ربا با فا صله های ثابت ۱۰ سانتی متر به میله وصـل شـدند. سـاختار نهایی المان کالیبراسیون در شکل ۱۹ نمایش داده شده است.



شکل ۱۸ – ابزار ساخته شده برای گونیا کردن میله های المان کالیبراسیون سه بعدی در سه جهت



شکل ۱۹ – ساختار نهایی المان کالیبراسیون سه بعدی به همراه گوی های آهنربایی رنگ شده

۳–۳– صحت سنجی

بعد از نهایی شـدن ساختار المان کالیبراسیون از آن برای صحت سنجی سهبعدی استفاده شده است. برای صحت سنجی نرم افزار، ابتدا دو مکعب فومی با (۱۵۶×۲۳۸×۳۷۷) میلیمتر و در نرمافزار به دست خواهد آمد و با مقدار حقیقی آن مقایسه می گردد. در انتها خطای صحت سنجی سهبعدی به دست آمده است. در ادامه نحوهی چیدمان، ارائه شده است.

برای تحلیل تحرکات شـی در سـه بعد، حداقل نیاز به دو دوربین می اشد. در این تست از دو دوربین Hero5 استفاده شده است و

تمام ویژگیها و پارامترهای دو دوربین عیناً مشابه هم هستند. همچنین مشخصات فیلمبرداری برای هر دو دوربین شامل رزولوشن مهمچنین مشخصات فیلمبرداری ۲۰۱ فریم بر ثانیه، نور، ایزو و شاتر بهصورت خودکار میباشد. نحوه قرارگیری دو دوربین بستگی به المان کالیبراسیون و شیء مورد تحلیل دارد. زیرا باید تمام نقاط کنترلی المان کالیبراسیون، توسط دو دوربینها دیده شوند و همهی تحرکات جسم نیز از ابتدا تا انتها در میدان دید دو دوربین باشد. برای ضبط همز مان دو دوربین از کنترل دوربین ها که قابلیت تصویربرداری هم زمان را ایجاد میکند، استفاده شده است. به منظور ایجاد روشانیی کافی هنگام فیلمبرداری از سه پروژکتور استفاده شده است. چید مان دوربین ها، پروژکتور و المان





شکل ۲۰- تصویر برداری از المان کالیبراسیون سه بعدی در فرآیند صحت سنجی (تصویر بالا) و نمایی از کنترل دوربینها بهمنظور هم زمانی در تصویر برداری (تصویر پایین)

همان طور که در شکل ۲۰ مشهود است، دوربین ها با استفاده از پایه، ثابت شدهاند و از ابتدا تا انتها هیچ گونه حرکتی ندا شتند. ابتدا المان کالیبراسیون در مقابل هر دو دوربین قرار گرفت و سیپس مکعبها، مطابق شکل ۲۱ جایگزین آن شدند. در جدول ۲ و جدول ۳ نتایج حاصل از صحتسنجی نرم افزار آورده شده است.



شکل ۲۱ - نمایی از مکعب فومی بزرگت (سمت راست) و مکعب فومی کوچک (سمت چپ)

جدول۲ - نتایج صحت سنجی و خطای مربوط به آن در مکعب کوچک

راستا	مقدار حقیقی[mm]	مقدار تحلیلی[mm]	خطا[mm]	خطای نسبی [درصد]
Х	777	374/22	۲/۴	•/8۵
у	۲۳۸	226/22	٣/٧	۱/۵۸
Z	108	107/10	٣/٨۵	7/48

جدول ۳ - نتایج صحت سنجی و خطای مربوط به آن در مکعب بزرگ

راستا	مقدار حقیقی[mm]	مقدار تحلیلی[mm]	خطا[mm]	خطای نسبی [درصد]
Х	۵۱۸	571/14	٣/۴	• 88
у	۳۸۳	34/40	١/٨	٠/۴٨
Z	۱۳۰	١٣١/٨٢	١/۴	1/4

همان گونه که در جداول ۳ و ۴ دیده می سود بیش ترین خطا در راستای عمق تصویر (راستای z) اتفاق افتاده است، میزان این خطای نسبی ۲/۴۶ درصد است. این راستا مربوط به مکعب کوچک، با بیشتر مقدار z است. با اطمینان از عملکرد نرم افزار در ادامه به بررسی تحرکات SPM در اثر موج منظم پرداخته می شود.

۴- بیان و تحلیل نتایج

با قراردادن سبه مارکر بر روی SPM که در تمام طول آز مایش توسیط دو دوربین قابل ردیابی هستند، به بیان نتایج پرداخته می شود. در این مطالعه به اختصار از سه حرف اول Right (راست) ، Left (چپ) و Center (مرکز) برای نشان دادن موقعیت سه مارکر نصب شده بر روی SPM استفاده شده است. همچنین با در نظرگیری موج منظم برای انجام آزمایشها به دلیل تکرار شد سیکل رفتاری و جابجایی مارکرها در طول ۶۰ ثانیه، پردازش تحرکات سه مارکر L، C و R در ۲۰ ثانیه ابتدایی صورت گرفته است. در شکل بر روی SPM و شکل ۲۵ این برر سیها برای سه مارکر قرار گرفته بر روی SPM؛ به صورت مجزا در سه راستای X، Y و z انجام شده است. لازم به ذکر است حرکت انتقالی SPM مربوط به را ستای X در راستای طول فلوم؛ معرف Surge، y در راستای عرضی فلوم آزمایشگاه معرف Sway و z را ستای عمود بر سطح تراز آب معرف موی Heave می اشد. شکل ۲۲ نشان دهنده نام گذاری مارکر ها بر روی SPM است.



شکل ۲۲ - نامگذاری مارکرهای بر روی SPM جهت تحلیل تحرکات



شکل ۲۳- جابجایی مارکر L-C-R در موقعیت Surge





شکل ۲۵- جابجایی مارکر L-C-R در موقعیت Heave

R شود و باعث افزایش مقادیر Surge در مارکر های L و R شود. همچنین بیشترین میزان جابه جایی مربوط به Sway و Heave به ترتیب با مقدار ۱۴/۹۲ میلیمتر و ۵۹/۹۷ میلیمتر، مربوط به مارکر C می باشد. شکل ۲۶ نشان دهده مقادیر بیشینه حرکات انتقالی SPM در ۵ ثانیه ابتدایی آزمایش اول است. مشاهده می شود که از ثانیه ۵ به بعد در آزمایش، سیکل رفتاری مارکرها به صورت متناوب و منظم در می آید. در شکل ۲۷ مقادیر بیشینه حرکات انتقالی برای سه مارکر آورده شده است. در شکل ۲۳ برای ۵ ثانیه ابتدایی Surge بیشترین مقدار جابجایی R در مارکر L برابر ۸۷/۹۵ میلی متر است. همچنین برای مارکر C و R در مارکر L برابر ۸۷/۹۵ و ۳۳/۸۷ میلی متر است. همچنین برای مارکر non میلی متر نیز مقادیر بدست آمده به ترتیب برابر ۵/۱۵ و ۳۳/۸۷ میلی متر است. دلیل این افزایش مقادیر Surge در ۵ ثانیه ابتدایی را می توان برخود جبهه موج با SPM دانست. به نحوی که بیشترین تاثیر Surge برخورد جبهه موج با SPM در حرکت انتقالی، مربوط به Surge است. به دیلی است. به دور د جبهه موج با SPM در مرکت انتقالی، مربوط به موج می وان متر است. به در محرکت انتقالی مربوط به Surge است. به در مرکت انتقالی مربوط به موج می مربوط مور حرکت انتقالی مربوط به Surge است. به در مربوط مربود جبهه موج می تواند باعث ایجاد Yaw (چرخش بدنه حول محور Z) در Z



شکل ۲۶ – مقادیر بیشینه حرکات انتقالی SPM در ۵ ثانیه ابتدایی آزمایش اول





بیشترین حرکات انتقالی مربوط به مارکر C است. این مارکر بیشترین جابهجایی را در Heave با میزان ۹۱ میلیمتر داشته است. همچنین در Surge و Sway به ترتیب ۱۸/۴ میلیمتر و ۳۲/۲۵ میلیمتر جابهجا شده است.

۵- نتیجه گیری

در این مطالعه به منظور بررسیی تحرکات SPM در اثر موج منظم برخوردی، اقدام به ساخت المان کالیبرا سیون سه بعدی و تصویر برداری از سه مارکر به وسیله دو دوربین شده است. با تفاسیر عنوان شده روش پردازش تصویر سه بعدی با هدف امکانسنجی در ارزیابی شده روش پردازش SPM شامل Surge، Sway و Heave روشی کارامد میباشد.

- در ۵ ثانیه ابتدایی با برخورد موج منظم با SPM حرکت انتقالی Surge با میانگین ۶۵/۶۵ میلیمتر در سـه مارکر بیشــترین حرکت انتقالی ثبت شـده میباشـد. که این افزایش به دلیل برخورد اولیه جبهه موج تابشی است.
- با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل تحرکات مربوط به سه مارکر L، C و R بیشترین جابهجایی مربوط به مارکر C، قرار گرفته در جلوی SMP میباشد.
- همچنین حرکت انتقالی Heave با میانگین ۷۶/۲۰ میلیمتر بیشترین جابه جایی را به خود اختصاص داده است.
- لازم به ذکر از بین حرکات انتقالی شامل Surge، Surge با ۹۱
 و Heave برای مارکر C، حرکت انتقالی Heave با ۹۱
 میلیمتر بیشترین جابهجایی ثبت شده در سه مارکر را دارا میباشد.

۶- تقدیر و تشکر تمامی تستهای آزمایشگاهی در آزمایشگاه ملی دریایی ایران (شهدای خلیج فارس – NIMALA) صورت گرفته است. همچنین از مدیریت آزمایشگاه و تمامی کارشناسان این مجموعه کمال سپاس و تشکر به عمل آورده می شود.

کليد واژگان

1- Global Positioning Systems 2- Image Processing 3- Single Point Mooring 4- Infrared 5- Radio Frequency Energy 6-Vibration 7- Magnetism 8- Motion Capture 9- Tracking 10- Real Time 11- Qualisys 12- Riser 13- Vortex-Induced Vibration 14- Australis (Photometrix) 15- Response Amplitude Operators 16-Homogeneous 17- Direct Linear Transform 18- Offline 19- Skill Spector 20- High Density Polyethylene (HDPE) 21- Draft 22- Freeboard 23- Calibration Frame

۷- منابع

1. Pinkster, J. A., & Remery, G. F. M., (1975), The role of model tests in the design of single point mooring

In Videometrics, Range Imaging, and Applications XIII (Vol. 9528, p. 95280K). International Society for Optics and Photonics.

9. Zhou, Q., Liu, M., Peng, H., & Qiu, W., (2015), *Experimental studies of hydrodynamic interaction of two bodies in waves.* In ASME 2015 34th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (pp. V011T12A011-V011T12A011). American Society of Mechanical Engineers.

10. He, F., Leng, J., & Zhao, X., (2017), An experimental investigation into the wave power extraction of a floating box-type breakwater with dual pneumatic chambers. Applied Ocean Research, 67, p. 21-30.

11. Rodríguez, J. L. R., (2017), Segmentation of molars in noisy pantomograms using digital image processing techniques.

12. Payton, C., & Bartlett, R. (Eds.)., (2007), Biomechanical evaluation of movement in sport and exercise: the British Association of Sport and Exercise Sciences guide. Routledge.

13. Polak, E., Kulasa, J., VencesBrito, A., Castro, M. A., & Fernandes, O., (2016), *Motion analysis systems as optimization training tools in combat sports and martial arts.* Revista de Artes Marciales Asiáticas, 10(2), p. 105-123.

terminals. In Offshore Technology Conference. Offshore Technology Conference.

2. Van Bruggen, T., (2018), *Mooring Line Failure* Detection of a Single Point Mooring System: a Model-Based Approach.

3. Guerra-Filho, G., (2005), *Optical Motion Capture: Theory and Implementation*. RITA, 12(2), p. 61-90.

4. Kerkeni, S., Dal Santo, X., Doucy, O., Jochmann, P., Haase, A., Metrikin, I., ... & Moslet, P. O., (2014), *DYPIC project: Technological and scientific progress opening new perspectives*. In OTC Arctic Technology Conference. Offshore Technology Conference.

5. Moghim, M. N., (2009), *Experimental study of hydraulic stability of reshaping berm breakwaters* (Doctoral dissertation, PhD thesis, Tarbiat Modares University). (In Persian).

6. Tofa, M. M. B., Maimun, A., Ahmed, Y. M., Jamei, S., & Abyn, H., (2013), *Two Degree of Freedom Vortex Induced Vibration Tests of a Riser Model Using Spring Bars*. Applied Mechanics and Materials, *465*, 1339.

7. Yang, Y. S., Yang, C. M., & Huang, C. W., (2015), *Thin crack observation in a reinforced concrete bridge pier test using image processing and analysis*. Advances in Engineering Software, 83, p. 99-108.

8. Nocerino, E., Menna, F., & Remondino, F., (2015), Comparison between single and multi-camera view videogrammetry for estimating 6DOF of a rigid body.