یازدهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی
۳ لغایت ۵ آذر ۱۳۹۳ (تهران-ایران)

ارزیابی عملکرد و کالیبراسیون سنسور موج نگار ایرانی

سید مصطفی نوربخش [۱]، احمدرضا زمانی [۲]، یلدا عمیدی [۳]

کلیدواژه :سنسور موج نگار ایرانی، کالیبراسیون موج نگار ایرانی ، آونگ نوسانی، چرخ گردان

مقدمه

سنسورهای موج نگار کاربرد وسیعی در اندازه‌گیری مشخصه‌های امواج دریا دارند. این سنسورها عمدتاً در بویه‌های هواشناسی و اقیانوس شناسی نصب گردیده و از آنها در ثبت اطلاعات سری زمانی امواج و طیف حاصل از آن‌ها استفاده می‌شود. یکی از مهمترین آزمون هایی که قبل از به آب اندازی بویه های هواشناسی و اقیانوس شناسی لازم است صورت بگیرد، تست و کالیبراسیون سنسور های موج‌نگاری است. بدین منظور جهت تایید صحت عملکرد سنسورهای موج نگار ایرانی لازم است آزمایش-های مربوط به کالیبراسیون خروجی سنسور موج نگاری قبل از قرار گیری آن در بویه ها انجام شود. برای انجام این کار استفاده از دو تجهیز آونگ نوسانی و چرخ گردان پیشنهاد می شود که در این مقاله به توضیح و چگونگی انجام آزمون و مقایسه نتایج پرداخته شده است.

عملکرد سنسور موج نگار ایرانی

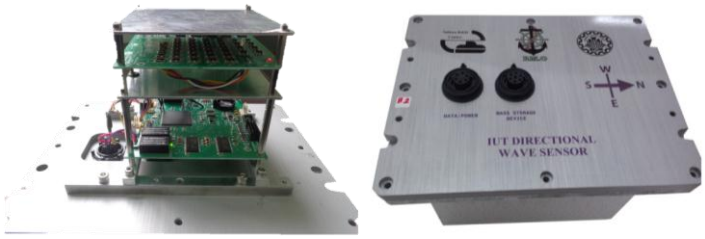
هدف از طراحی و ساخت سنسور موج نگار ایرانی اندازه گیری مشخصه های امواج دریا می باشد. سنسور موج‌نگار ایرانی بر اساس زیرسنسورهای شتاب سنج، ژیروسکوپ، و قطب‌نما است که با فن آوری MEMS عمل می‌نماید. این سنسور باید سه کمیت حرکت عمودی بویه بر حسب زمان z(t)، و شیب‌های موج نسبت به محورهای افقی x, y یعنی $\partial z/\partial x$, $\partial z/\partial y$ را به عنوان سری‌های زمانی اولیه برای پردازش های موج‌نگاری فراهم کند. باید توجه شود که کالیبراسیون سنسورهای شتاب‌سنج و ژیروسکوپ برای رفع تا حد امکان عوامل خطای زیرسنسورها ضروری است[۱]. بنابراین یک مجموعه تست و کالیبراسیون آزمایشگاهی به این منظور طراحی و پیاده سازی شده است که با آن، علاوه بر کالیبراسیون زیرسنسورها، صحت کلی سنسور موج نگار نیز ارزیابی می‌شود.

پردازش سیگنال در سنسور موج نگار ایرانی بصورت مطلوبی روی خروجی های شتاب سنج انجام می شود تا مختصات مورد انتظار را ارائه کند و ژیروسکوپ جهت پردازش سیگنال بصورت مطلوب بکار رفته تا زاویه‌های پیچ[۴]، رول[۵] و $\partial z/\partial x$, $\partial z/\partial y$ لحظه‌ای مورد انتظار ارائه شود.

شکل(۱) نمایی از جعبه سنسور موج نگار ایرانی و مدار داخلی آن را نشان می‌دهد.

[۱] استادیار ، پژوهشکده علوم وتکنولوژی زیردریا، دانشگاه صنعتی اصفهان mostafanoorbakhsh@gmail.com
[۲] استادیار ، پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیر دریا، دانشگاه صنعتی اصفهان arzamani@cc.iut.ac.ir
[۳] دانشجوی دکتری مخابرات سیستم ، پژوهشکده علوم وتکنولوژی زیر دریا، دانشگاه صنعتی اصفهان yalda_amidi67@yahoo.com

[4] Pitch
[5] Roll



شکل ۱) سمت راست: جعبه موج نگار ایرانی، سمت چپ: مدار داخلی موج نگار ایرانی

جدول (۱) ویژگی ها و مشخصات کلی سنسور موج نگار ایرانی را نشان می دهد:

جدول ۱ : لیست مشخصه های اندازه گیری شده توسط بویه موج نگار ایرانی

ابعاد	**27×21×17.5 cm**
تغذیه الکتریکی	**12 V**
مصرف توان	**1.5 W**
پورت خروجی	**استاندارد RS232، نرخ 115200 b/s**
حجم ذخیره داخلی	**1 GByte**
نرخ نمونه برداری	**2 Hz**
طول دوره نمونه برداری	**قابل تنظیم، مقدار پیشنهادی: 1024 sec**
رزولوشن فرکانسی	**0.01 Hz**
دقت اندازه گیری heave	**5 cm**
محدوده فرکانسی heave	**0.08 – 1 Hz**
دقت اندازه گیری pitch ,roll	**$\pm 0.2^{o}$**
محدوده فرکانسی pitch ,roll	**0.02 – 1 Hz**
محدوده پریود زمانی	**1 – 12.5 sec**

کالیبراسیون موج نگار ایرانی

همانطور که پیش از این بیان شد، هدف از ساخت سنسور موج نگار ایرانی اندازه گیری پارامترهای موج دریا است. داده های این سنسور برای محاسبه پارامترهای موج شامل ارتفاع هیو[6]، زوایای رول و پیچ بکار گرفته می‌شوند.

در حقیقت این سنسور با توجه به شتاب اندازه گیری شده در جهات مختلف قادر به محاسبه مشخصه‌های موج می باشد. منظور از زوایای رول و پیچ، حرکت سنسور حول محور افقی x و y است و ارتفاع موج، یا پارامتر هیو جابجایی سنسور در راستای محور عمودی z را نشان می دهد. در این قسمت سعی شده است که تجهیزات لازم برای تست و کالیبراسیون این سنسور مطابق با مراجع معتبر معرفی شوند [۲و۳].

تست و کالیبراسیون پیشنهادی سنسور موج نگار می تواند به صورت‌های زیر انجام شود:

الف) حرکت آزاد توسط پاندول با طول نسبتا بلند جهت ایجاد حرکت سینوسی (رفت و برگشتی) بر روی مقطعی از کمان دایره:

این پاندول می تواند در حالت ساده یک طناب بلند باشد که از سقف آویزان است. بخش اصلی این تست ثبت حرکت نقطه نصب سنسور بر روی طناب یا پاندول است. برای تست سنسور به این روش یک آونگ با مشخصات زیر ساخته شده است:

۱- مکانیزم ایجاد حرکت آونگی برای سنسور

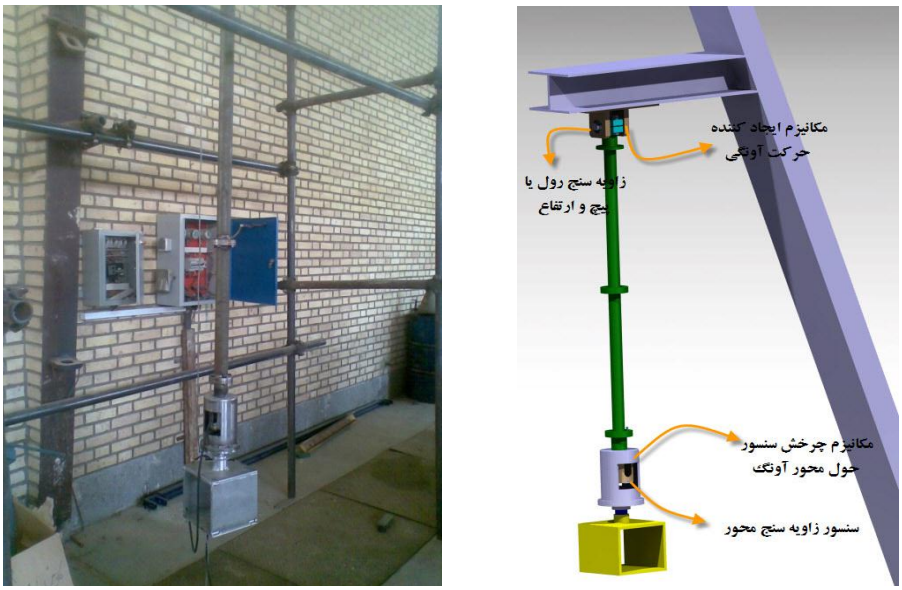
۲- مکانیزم حرکت آزاد و یا قابل تنظیم برای سنسور حول محور آونگ

۳-حداکثر زاویه انحراف °30 از راستای قائم

۴- حداقل و حداکثر طول آونگ:60~360cm

[6] Heave

۵- دقت زوایای سنسور اندازه گیری زاویه:°0.35
شکل(۲) تصویری از آونگ ساخته شده را نشان می دهد.



شکل ۲) آونگ نوسانی

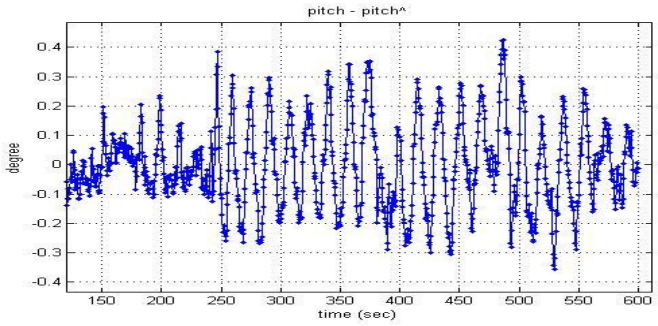
ب) حرکت سینوسی یا ترکیبی از حرکات سینوسی به کمک چرخ گردان:
در این روش از یک دستگاه ساده نظیر چرخ گردان استفاده می شود که قطر آن حدود ۲ متر بوده و می تواند با فرکانس‌های مختلف دوران کند. سنسور در یک سبد در انتهای چرخ قرار می‌گیرد و حرکات دورانی را که کاملا سینوسی است ثبت می‌کند. این کار مشابه تولید یک موج منظم سینوسی با فرکانس متغیر و دامنه ثابت است. دستگاه یاد شده بایستی قابلیت ثبت فرکانس چرخ گردان را داشته باشد و بتواند با دورهای متغییر حرکت کند. ابعاد چرخ گردان می‌تواند کمتر و یا بیشتر از ۲ متر نیز انتخاب شود. مشخصات این دستگاه ساخته شده در زیر آمده است:
۱- دقت تنظیم فرکانس:0.01Hz
۲- ابعاد چرخ گردان: ارتفاع مجموعه، 150cm ، طول بازو: 2050cm
۳- محدوده فرکانس زاویه ای:0.09Hz~0.27Hz
۴- شعاع گردش: 1m
۵- وزن مجموعه،
وزن پایه ثابت:23Kg
وزن کل: بیش از 50Kg
تصویر چرخ گردان، در شکل (۳) آمده است:

شکل ۳) چرخ گردان

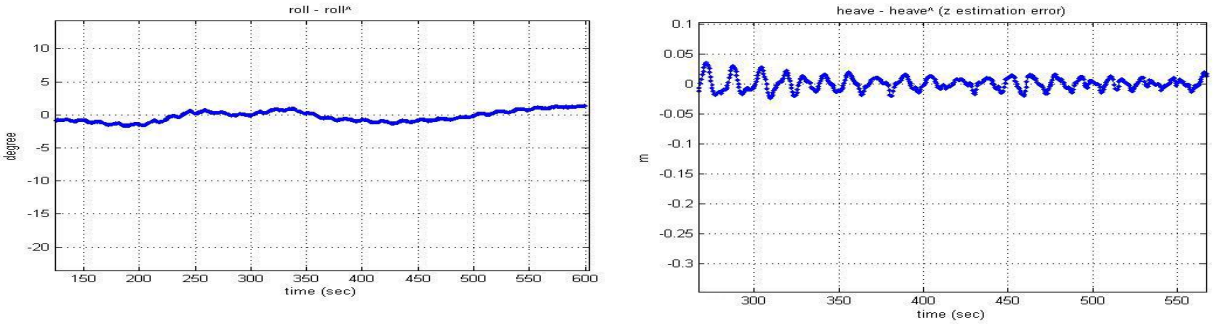
همچنین باید توجه شود که برای اندازه گیری زاویه‌های رول، پیچ و بدست آوردن ارتفاع هیو لحظه ای توسط آونگ نوسانی و چرخ گردان نیـاز به یک حسگر زاویه سنج دقیق وجود دارد که بر روی آن نصب می شود. بدین منظور استفاده از Shaft Encoder بادقت بالا پیشنهاد می شود.

نمونه ای از نتیجه کالیبراسیون موج نگار ایرانی

جهت اعلام گزارش کالیبراسیون و اطمینان از عملکرد درست سنسور موج نگار لازم است سه شکل موج شامل میزان خطای زوایای رول، پیچ و ارتفای هیو که از اختلاف بین خروجی سنسور و مقدار اندازه گیری شده توسط Shaft encoder منصوب بر آونگ نوسانی و چرخ گردان بدست می آید، گزارش شود. لازم به ذکر است، روش پیشنهادی در این مقاله به تائید اداره استاندارد استان اصفهان رسیده است. شکل (۴) و (۵) نمونه ای از نتایج کالیبراسیون سنسور موج نگار را نشان می دهد:



شکل ٤) میزان خطای زاویه پیچ در نمونه آزمون کالیبراسیون انجام شده



شکل ٥) سمت راست: میزان خطای ارتفاع هیو سمت چپ: میزان خطای زاویه رول در نمونه آزمون کالیبراسیون انجام شده

باید توجه نمود که پس از انجام آزمون کالیبراسیون، سنسور های موج نگاری که خطای زاویه رول و پیچ آن از مقدار 3° و خطای ارتفاع هیو از 5cm بالاتر باشد مردود اعلام شده و باید رفع عیب شود.

نتیجه گیری

در این مقاله به توضیح مختصری از چگونگی کارکرد سنسور موج نگار ایرانی پرداخته ایم و از این جهت که لازمه درست عملکرد سنسور ها کالیبراسیون آن ها قبل از به راه اندازی می باشد روش ساده و در عین حال با دقت بالا و متناسب بودن با شرایط تولید موج در دریا در این مقاله ارائه شد که با استفاده از آن می توان سنسور های موج نگاری را قبل از نصب بر روی بویه ها تست و کالیبره نمود تا از صحت عملکرد آن در دریا اطمینان حاصل کرد.

مراجع

[۱] نوربخش، م، زمانی،ا، بدری،م، (بهار۱۳۹۳)،" پردازش سیگنال و پیاده سازی حسگر موج نگار الکترونیکی بویه‌های هواشناسی اقیانوس شناسی"، فصلنامه علمی پژوهشی دریافنون.

[2] P.L. Gerritzen ,Datawell BV, Zomerluststraat 4, 2012 LM Haarlem, The Netherlands "The calibration of wave buoys",

[3] NOAA Technical Report NOS CO-OPS , 2003, "Triaxys Directional Wave Buoy for Near shore Wave Measurements - Test and Evaluation Plan", Silver Spring, Maryland January