طراحي و ساخت یک ربات ماهي و بررسي‌هاي آزمايشگاهي برروي آن

محسن سياه منصوري[i*] ؛ احمد قنبري[ii]

چکيده

الهام‌گيري از طبيعت براي توليد محصولات رفع‌کننده‌ي نيازهاي بشر همواره مورد توجه انسان بوده است. در اين بين حرکت و مانور آبزيان از جايگاه خاصي برخوردار است. در اين مقاله ابتدا به مقايسه قابليت‌هاي گونه‌هاي مختلف ربات‌هاي مقلد مي‌پردازيم و سپس با توجه به بررسي خواص ربات ماهي‌هاي گوناگون، به طراحي و ساخت نوعي ربات ماهي مي‌پردازيم که براي ساخت آن از ماهي شمشيري[۱] الهام گرفته‌ايم. اين ربات با يک باله‌ي موجي چندتکه‌اي[۲] در قسمت زيرينش، نيروي لازم را براي پيشروي و مانور ربات فراهم مي‌نمايد. تغيير جهت و عمق شناي ربات نيز به‌وسيله‌ي يك سيستم مکانيکي شامل دو سروو موتور[۳] امکان پذير است. اين ربات به کمک يک دسته کنترلي و توسط يک سيستم کنترل بي سيم[٤] ، فرمان‌هاي لازم را به بورد کنترلي نصب شده بر روي ربات ماهي جهت حرکت و مانور ارسال مي‌کند. بدين ترتيب کنترل ربات از بيرون استخر امکان پذير است. به کمک اين سيستم کنترلي مي توان سرووموتورهاي موجود در باله و سيستم مکانيکي کنترل جهت و عمق شناي ربات را کنترل نمود. در پايان اثر عوامل گوناگون بر روي مانور و سرعت شناي ربات ماهي از ديدگاه آزمايشگاهي بررسي خواهدشد.

کلمات کليدي : الهام‌گيري از طبيعت، ربات ماهي، باله موجي، کنترل جهت و عمق ، سيستم کنترل بي‌سيم، نمودار سرعت

Design, Implementation and Experiments on a Fish-Like Robot

M. Siahmansouri , A. Ghanbari

ABSTRACT

One of main methods for protecting nature is to use nature as an inspiration source for designing new products for human being’s needs. Movement and maneuver in fluids is an important issue in human activity. In this work, by inspiration from knife fish, an undulating fin for producing propulsion force are designed and implemented. This undulating fin is a segmental anal fin, and produce sinusoidal waves which are needed for producing propulsion force. Then, parameters of this sinusoidal wave are discussed.

In the fish robot, with using a special mechanical system, the direction of propulsive force is adjustable for controlling of direction and depth of swimming. Then, details of wireless control system for maneuvering and controlling of robot `s speed are presented. Finally, the results of fish robot `s movement is discussed experimentally.

KEYWORDS : Biommimetic, Fish robot, Undulating fin, Controlling of direction and depth, Wireless control system, velocity Diagrams

---

تاريخ دريافت مقاله:۱۳۸۹/۹/۲۷

تاريخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۹/۱۰/۲٦

[i] * نويسنده مسئول و م. سياه منصوري؛ کارشناس ارشد مهندسي مکانيک، دانشگاه تبريز؛ mohsen.siahmansouri@yahoo.com

[ii] ا. قنبري؛ استاديار دانشکده مهندسي مکانيک، دانشگاه تبريز؛ a-ghanbari@tabrizu.ac.ir

۱- مقدمه

به نظر مي‌رسد تقليد از طبيعت يكي از راه‌هاي حفظ آن است. دخالت بيش از حد انسان در طبيعت باعث تخريب آن شده است. يكي از بزرگترين و مهم‌ترين زمينه هايي كه بشر باعث بر هم خوردن نظم طبيعت شده است، زندگي دريايي است. اين مساله ما را به سوي ساخت وسايلي كه با طبيعت هماهنگي بيشتري داشته باشند، هدايت مي‌نمايد. براي رسيدن به اين هدف، ايجاد تغييراتي در ساختار وسايل موجود اجتناب‌ناپذير است. يكي از مهم‌ترين اين تغييرات بررسي روش‌هاي جديد توليد نيروي پيشران است. براي مثال استفاده از پروانه‌ها براي توليد نيروي پيشران كشتي‌ها و قايق‌ها باعث آسيب‌هاي شنوايي شديد موقتي و پايدار بر روي موجودات دريايي مي‌شود [۱]. در طبيعت در موارد بسياري، اين نيروي پيشران به وسيله‌ي ايجاد موج‌هاي سينوسي توليد مي‌شود. يكي از راه‌هاي بررسي كارايي موج‌هاي سينوسي در توليد نيروي پيشران لازم براي حركت كشتي‌ها و زيردريايي‌ها، استفاده از اين موج‌ها براي مانور ربات ماهي‌ها است[۲].

علاوه بر طبيعت، پره‌ها در كاربردهاي صنعتي نيز در مواردي باعث ايجاد مشكلاتي مي‌شوند. پاك شدن لايه‌هاي محافظ خوردگي در مخازن سيالات در اثرجداشدن مواد اكسنده شيميايي مانند اكسيژن، كلر، اسيد سولفوريك، اسيدنيتريك، پرمنگنات در اثر همرفت ناشي از حركت شديد در پره‌ها، كارايي پايين در لزجت‌هاي بالا، كاربرد نداشتن در موارد رسوبي و لجني، امولسيون مضر مثلا در بخشي از مراحل تصفيه آب و انفجار در اثر همرفت ناشي از حركت شديد پره‌ها به دليل پايين بودن انرژي فعال سازي برخي سيالات، نمونه‌هايي از مضرات كاربرد پره‌ها در شناگرهاي ساخت بشر هستند. استفاده از موج‌هاي سينوسي در راستاي كاهش مشكلات گفته شده، موثر است. بنابراين مي‌توان به طبيعت به عنوان يک منبع مهم الهام‌گيري براي توليدات و پرورش نوآوري‌ها توجه نمود [۳].

سعي بر آن است كه با الهام‌گيري از طبيعت نيروي لازم را براي حركت و مانور ربات ماهي‌ها توليد نمود.

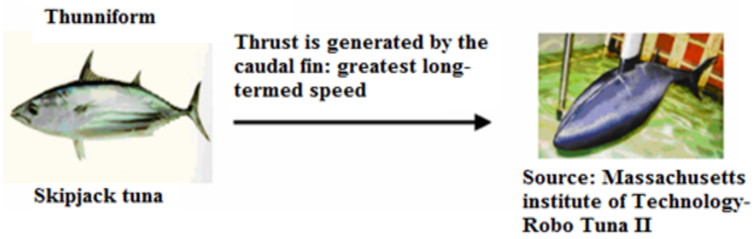
در طبيعت نيروي پيشران ماهي‌ها از دو طريق توليد نوسان بدنه يا باله و يا توليد موج توليد مي‌شود. ماهي‌هاي موجي به دو نوع بدن موجي يا باله موجي تقسيم مي‌شوند. البته تركيب اين روش‌هاي گفته شده، نيز قابل اعمال است.

در اينجا قصد داريم ربات ماهي‌هايي در ابعاد چند ده سانتي‌متري را بررسي كنيم. در اين ربات‌ها حركت نوساني به دليل ايجاد نوسانات شديد در آب و هدر دادن توان و هم‌چنين نداشتن مهارت لازم براي شناگري، مناسب نيست.

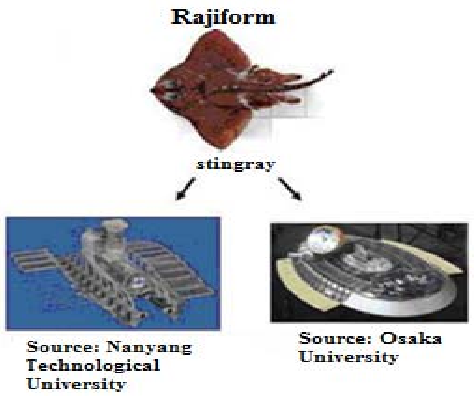
در اين مقاله به بررسي قابليت‌هاي ربات ماهي‌هاي BCF و MPF مي‌پردازيم. سپس دوگونه‌ي قابل توليد ربات‌هاي الهام گرفته از ماهي‌هاي MPF را بررسي مي‌كنيم و طرح برتر را انتخاب خواهيم كرد و با بيان چگونگي توليد موج‌هاي سينوسي گوناگون به كمک شش سروو موتور موجود در باله نوع برتر، به طراحي يک سيستم مكانيكي شامل دو سروو موتور كنترل عمق و جهت مي‌پردازيم و مدارهاي مخابرتي و الكتريكي را براي كنترل بي‌سيم اين ربات ماهي بيان مي‌كنيم. سپس اثرات عوامل فيزيكي بر سرعت حركت ربات ماهي را بصورت تجربي بررسي خواهيم نمود. در پايان، زمينه‌هاي مختلفي را براي تحقيقات گسترده تر بر روي شناگرهاي مصنوعي و ربات ماهي‌ها بيان مي‌كنيم.

۲- تقليد و كارايي ربات‌هاي **BCF** و **MPF**

در اين بخش به بررسي و مقايسه‌ي ربات‌هاي الهام گرفته از ماهي‌هاي BCF و MPF مي‌پردازيم. در شكل‌هاي (۱) و (۲) نمونه‌هايي از اين ربات ماهي‌ها به همراه نام موسسه سازنده و نمونه طبيعي آن‌ها آورده شده است.



شكل (۱): نمونه‌هايي از ماهي‌هاي BCF و ربات‌هاي مقلد آن‌ها [٤]



شكل (۲): نمونه هايي از ماهي‌هاي MPF و ربات‌هاي مقلد [۵]

يكي از روش‌هاي مقايسه اي در طراحي، گفتن قابليت‌هاي مطلوب و امتيازدهي به ميزان ارضاء قابليت گفته شده در هر يک از طرفين در حال مقايسه است. در جدول (۱) نيز به همين روش به مقايسه‌ي ربات‌هاي BCF و MPF مي‌پردازيم.

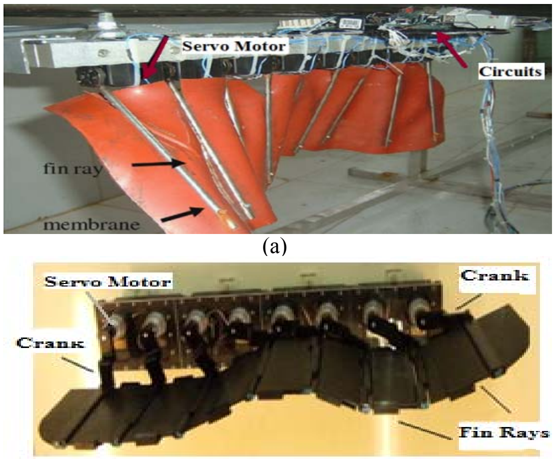
جدول (۱): مقايسه موردي ربات‌هاي مقلد

موارد مقايسه	ربات‌هاي مقلد ماهي MPF	ربات‌هاي مقلد ماهيBCF
نيروي درگ[5] (دراثرحركت محوربدنه)	۱	۰
ميزان نوسان آب	۲	۱
سرعت	۱	۱
داشتن مهارت و تعادل در شنا گري	۲	۰
ابعاد	۰	۱
نمره كل	۶	۳

بنابراين نمونه برتر از نظر ارضاي عوامل مطلوب ربات‌هاي مقلد ماهي‌هاي MPF مي‌باشد.

۳- مقايسه دو نوع مختلف ربات ماهي‌هاي MPF

تاكنون چند نمونه [۱، ۵-۱۰] از اين تقليد براي ساخت ربات‌هاي مقلد انجام شده است. در اين بخش دو طرح ساخته شده باله‌ي موجي را بررسي و مقايسه مي‌نماييم، (شكل ۳). در برخي از اين نمونه‌ها مانند نمونه‌هاي هو[٦] [٦]و ژنگ[٧][٧]، ميله‌هاي باله[٨] مستقيما به محور سروموتورها متصل است و ميله‌هاي باله حركت رفت و برگشتي را در يک صفحه انجام مي‌دهند و باعث توليد موج طولي مي‌شوند كه نمونه‌اي ازاين مكانيزم در شكل (۳a) آمده است. در برخي ديگر از اين مكانيزم‌ها مانند طرح‌هاي لو[٩] [۱،۵،۸،۱۰] و طرح ويلي[۱۰] [۹] هر كدام از ميله‌هاي باله به طور قائم به يک لنگ[۱۱] متصل هستند كه اين لنگ‌ها توسط محور سروو موتورها به حركت در مي‌آيند و با حركت كماني شكل ميله‌هاي باله، موج طولي توليد مي‌شودكه نمونه اي ازاين مكانيزم در شكل (۳b) آمده است.



(a)

(b)

شكل (۳): (a) مكانيزم باله ربات MPF ساخت دانشگاه ملي صنايع دفاع چين، چنگسا[۱۲][۷]

(b) مكانيزم باله ربات MPF در ربات NKF-II ساخت دانشگاه صنعتي نانيانگ سنگاپور[۱۳] [۱]

در هر دو طرح بالا براي توليد موج، فاصله بين دو ميله باله مجاور همواره در حال تغيير است. در طرح (a) كه به طور كامل از ماهي‌هاي طبيعي الهام گرفته است بايد جنس غشاء باله از جنس مناسبي انتخاب شود كه شبيه باله‌هاي ماهي، قابليت انقباض و انبساط داشته باشد. در غير اين صورت به دليل فاصله‌ي متفاوت قسمت انتهاي دو ميله باله مجاور و سر آن ها و هم‌چنين تغيير فاصله دو ميله باله مجاور در حين توليد موج، ايجاد چروكيدگي اجتناب ناپذير است. البته شايد بتوانيم لغزنده[۱۴]هاي ويژه‌اي نيز توليد نماييم كه در بين دو ميله باله مجاور قرار گيرد و اين مشكل را برطرف نمايد كه البته طرح ساده‌اي نيست.

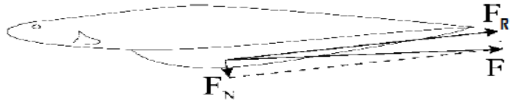
اما در طرح (b) به اين دليل كه ميله‌هاي باله همواره موازي هستند، با لغزنده‌هاي بسيار ساده‌تري مي‌توان از چروكيدگي باله جلوگيري نمود. البته اين طرح براي توليد موج سينوسي ساده است و به طور كامل از ماهي تقليد نمي‌كند. موازي بودن ميله‌هاي باله اين خاصيت را دارد كه بدون لغزنده و با بيشتر نمودن تعداد موتورها و هم‌چنين كاهش اختلاف فاز بين آن‌ها نيز مي‌توان چروكيدگي باله را در هنگام توليد موج به حداقل رساند.

نوع (a) در حين توليد موج علاوه بر توليد نيرويي در راستاي طولي باله ،يک نيروي عمودي نيز توليد مي‌نمايد. اما نوع (b) فقط به توليد يک نيرو در راستاي طولي باله در حين توليد موج منجر مي‌شود كه جهت اين نيرو را مي‌توانيم به سادگي به بالا و پايين و طرفين منحرف كنيم و كنترل جهت

نيروي پيشران در طرح (b) ساده تر و دقيق تر از نوع (a) است. بنابراين طرح برگزيده ما طرح (b) است.

٤- تحليل نيرويي ربات ماهي MFP با ميله‌هاي باله‌ موازي

براي پيشروي و مانور ربات ماهي و البته براي غلبه بر نيروي برايند نيروهاي وزن و شناوري وارد بر ربات، به يک نيروي پيشران با قابليت تغيير جهت نياز داريم. براي كاهش چگالي ربات مي‌توانيم از طرح‌هاي مختلفي استفاده نماييم [١،٨،٩] ، كه البته در اين ربات از يک جليقه كاهنده چگالي استفاده مي‌كنيم. براي حركت رو به جلو، بايد باله‌ي ربات يک نيروي رو به عقب به سيال وارد نمايد و براي غلبه بر نيروي برايند وزن و شناوري، باله بايد يک نيروي رو به پايين به سيال وارد نمايد. به اين دليل كه چگالي ربات حتي با جليقه‌ي كاهنده چگالي نيز بايد بيشتر از چگالي سيال باشد. پس، مانند آنچه كه در شكل (٤) آمده است، جهت برايند اين نيروها براي حركت رو به جلوي ربات به شكل تأمين مي‌شود.



شكل (٤): نيروهاي توليد شده به وسيله‌ي باله و برايند آن ها[١١]

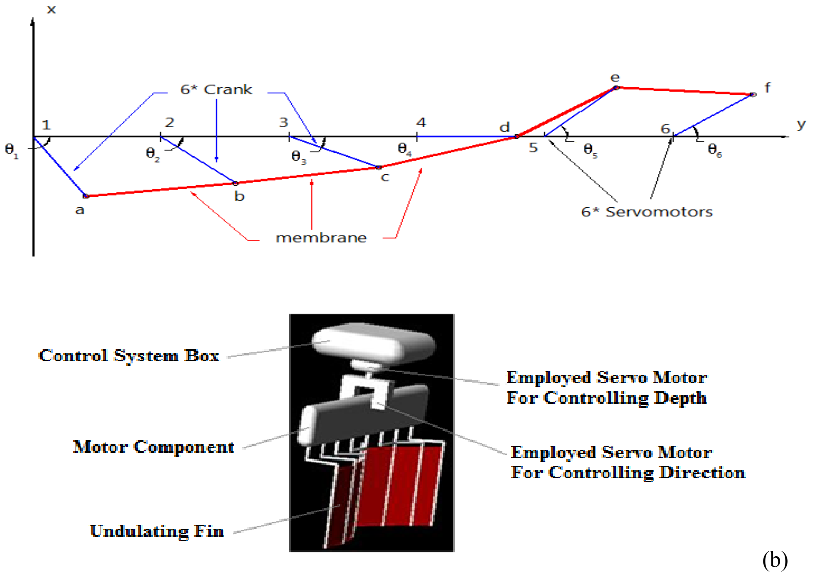
براي حركت ربات رو به بالا، جهت اين نيروي برايند به جهت نيروي قائم و براي حركت رو به پايين آن به سمت نيروي افقي نزديك مي‌شود. براي حركت به طرف چپ و راست ربات نيز اين نيرو در صفحات افقي و براي تغيير عمق ربات اين نيرو در صفحات قائم چرخش خواهد داشت.

از ديگر خواص اين ربات، توانايي تركيب حركات گفته شده است. با بيشتر شدن تعداد باله ها درماهي‌ها بررسي نيروهاي هيدروديناميكي موجود دشوارتر مي‌شود [١٢].

٥- طراحي مدل مكانيكي ربات ماهي

در اينجا طرح باله انجام شده مانند طرح هاي لو [١٠،٨،٥،١] و طرح ويلي [٩] است و به صورت آنچه كه در شكل (5a) نشان داده شده است، شش سرووموتور براي توليد موج سينوسي بكار مي‌روند. اما آنچه كه در اين طرح خاص است، كاربرد يک سيستم مكانيكي شامل دو سرووموتور جداگانه براي كنترل جهت و عمق است. هرلنگ در باله مي‌تواند نسبت به راستاي طولي بدنه ربات از ٩٠- درجه تا ٩٠+ درجه چرخش داشته باشد كه ميزان اين چرخش براي تمامي سرووموتورها يكسان و به وسيله‌ي كاربر قابل كنترل است. اختلاف فاز بين دو لنگ مجاور نيز يكسان و قابل تغيير بين ١٠ تا ١٢٠ درجه است.

براي تغيير جهت و تغيير عمق شناي ربات، همانطور كه در شكل (5b) آمده است، يک سيستم مكانيكي ويژه شامل دو سرووموتور جداگانه طراحي شده است. براي حركت به طرف چپ و راست ربات، باله به وسيله‌ي سرووموتور كنترل جهت، نسبت به صفحه قائم فرضي عبوركننده از راستاي طولي بدنه ربات از ٩٠- تا ٩٠+ چرخش خواهد داشت و براي تغيير عمق ربات نيز باله ربات به وسيله‌ي موتور كنترل عمق نسبت به صفحه افق فرضي عبوركننده از راستاي طولي بدنه ربات از ٩٠- تا ٩٠+ درجه مي‌چرخد. بدين ترتيب ربات ماهي توانايي شنا و مانور در كل استخر را خواهد داشت.



(a)

(b)

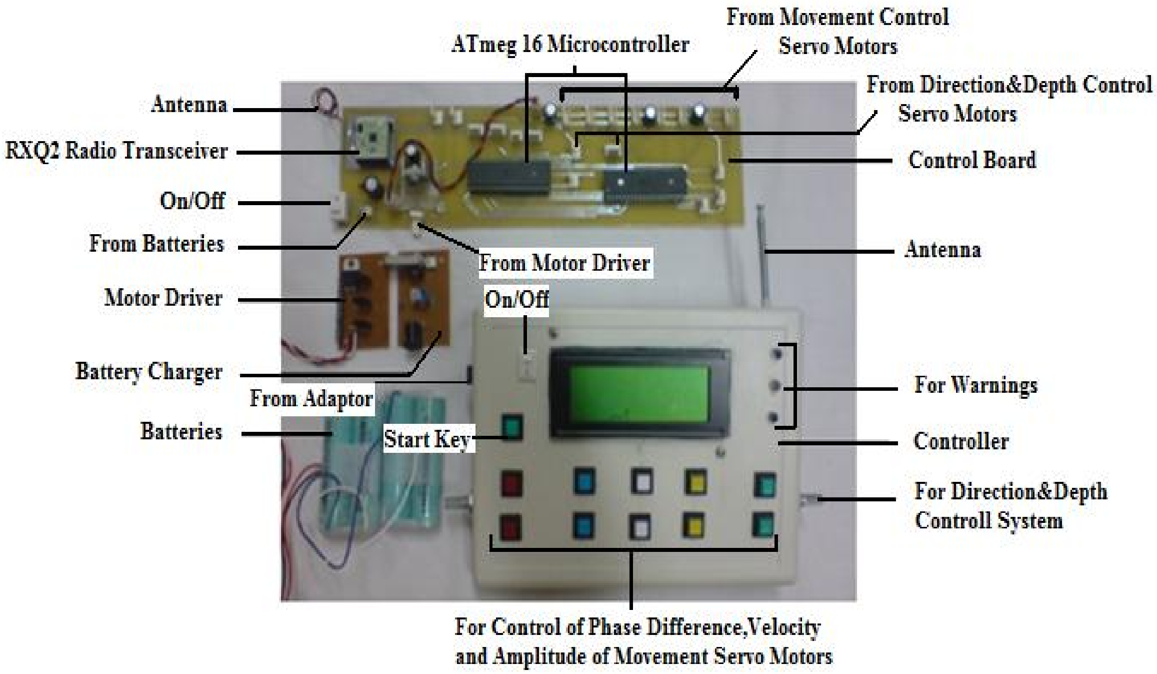
شكل (٥) :(a)سرووموتورهاي موجود در باله با اختلاف فاز مشخص بين لنگ هاي مجاور، (b) مدل شماتيک ربات ماهي

۶- ۶- سیستم کنترل بي سیم

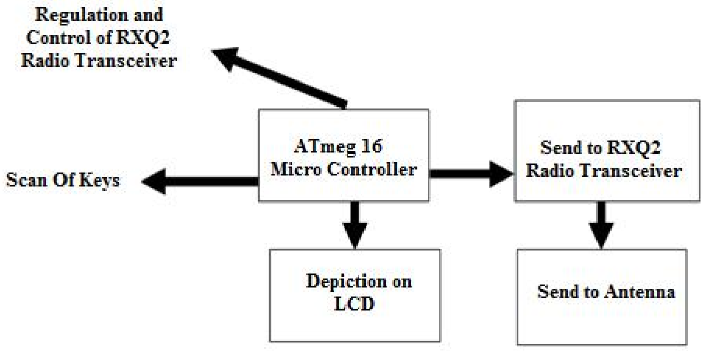
تاکنون چندین نمونه از سیستم‌هاي کنترلي این نوع ربات‌هاي ماهي اجرا شده است [۱۰،۸،۵]. این سیستم‌هاي کنترلي به روش‌هاي خاصي به کنترل ربات ماهي‌هاي تک باله زیرشکمي[۱۵] [۸،۵] و دو باله پهلویي[۱۶][۱۰] مي‌پردازند.

همان‌طور که در شکل (۶) نشان داده شده است، سیستم کنترلي ربات ماهي ارائه شده در این مقاله از دو قسمت تشکیل شده است. این سیستم شامل دسته کنترلي و صفحه کنترلي نصب شده بر روي ربات است.

دسته کنترلي این ربات داراي یک صفحه کنترل است. برنامه‌اي که براي میکروکنترلر این صفحه نوشته شده، اعمال نشان داده شده در شکل (۷) را انجام مي‌دهد. فرمان‌هاي برنامه‌ریزي شده در ریزکنترل کننده[۱۷] موجود در این دسته در LCD نمایش داده مي‌شوند و با زوج کلیدهاي افزایشي و کاهشي دسته کنترلي قابلیت کنترل و تغییر دارند. سپس این فرمان‌ها با فرستنده مخابراتي[۱۸] تقویت و به کمک آنتن موجود در دسته کنترلي به آنتن صفحه نصب شده بر روي ربات انتقال مي‌یابد.



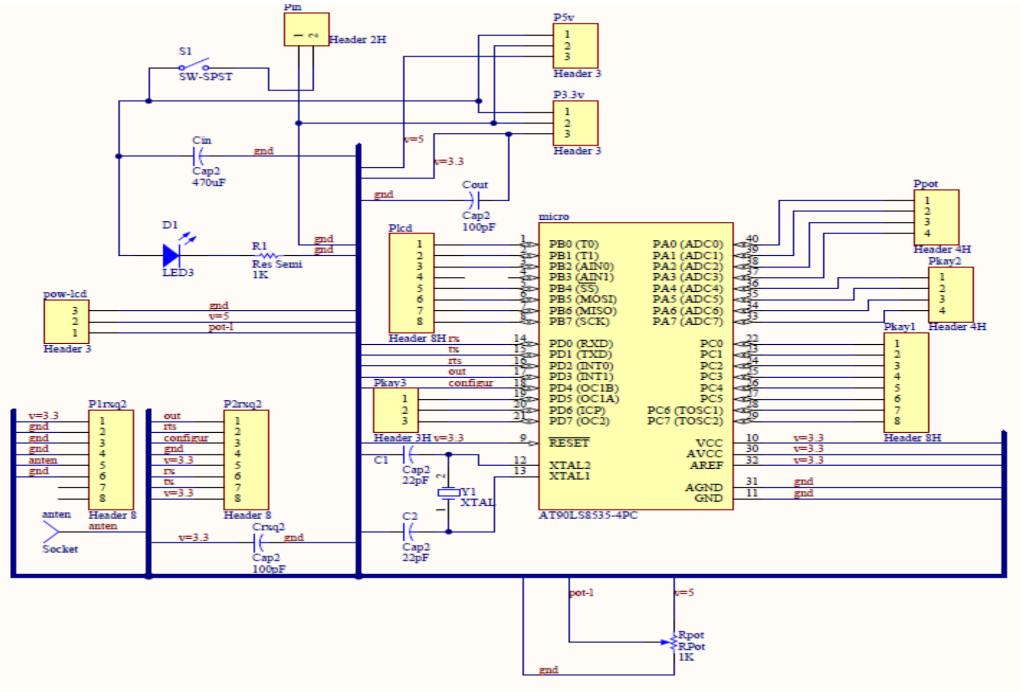
شکل (۶) : اجزاي سیستم کنترل ربات ماهي



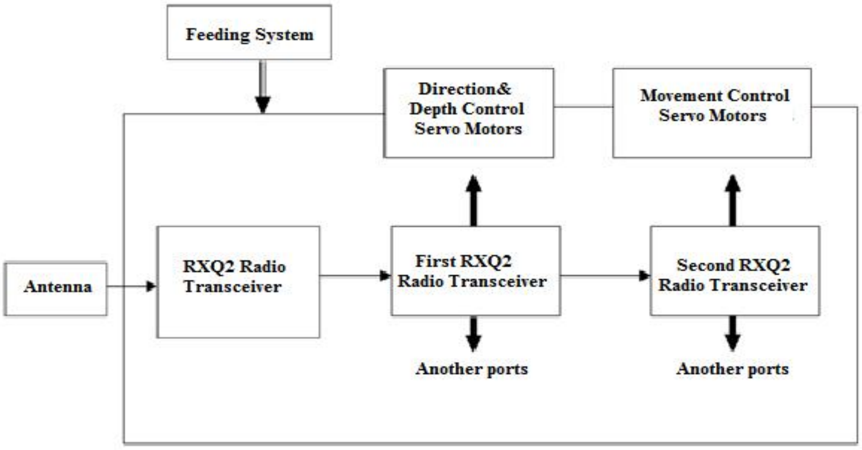
شکل (۷) : روند کنترل فرستنده مخابراتي بکار رفته در صفحه کنترل دسته کنترل ربات ماهي

مدار صفحه كنترلي دسته كنترل در شكل (۸) نشان داده شده است. در قسمت صفحه كنترلي نصب شده بر روي ربات دو ميكروكنترلر قرار داده شده است. همان‌طور كه در شكل (۹) مشخص است ريز كنترل كننده اول فرستنده مخابراتي و موتورهاي كنترل جهت و ارتفاع و ريزكنترل كننده دوم سرووموتورهاي موجود در باله را كنترل مي‌نمايد.

اطلاعات ارسالي از دسته كنترلي، به وسيله‌ي آنتن و سپس فرستنده مخابراتي موجود در صفحه كنترلي نصب شده بر روي ربات ماهي دريافت مي‌شود و به ريزكنترل كننده اول تحويل داده مي‌شود تا به كنترل سرووموتورهاي كنترل جهت و عمق بپردازد. اين ريزكنترل كننده بعد از پردازش اطلاعات قسمتي از اطلاعات را به كنترل كننده دوم تحويل مي‌دهد تا كار كنترل سرووموتورهاي موجود در باله را انجام دهد.



شکل(۸) : مدارصفحه کنترلي دسته کنترل ربات ماهي



شکل(۹): روند کنترل سرووموتورها و فرستنده مخابراتي بکار رفته در صفحه کنترل نصب شده بر روي ربات

مدار صفحه کنترلي نصب شده بر روي ربات ماهي در شکل (۱۰) آورده شده است.

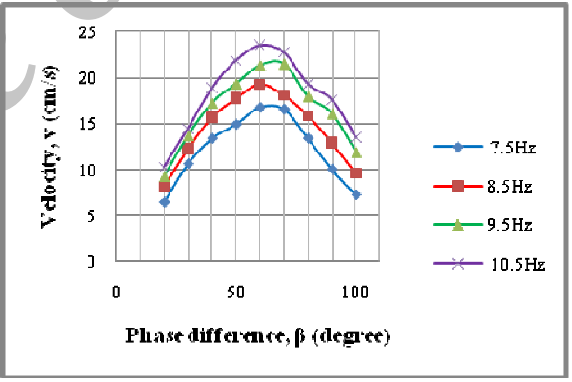
اختلاف فاز موجود در بين هر دو سروموتور مجاور سبب توليد موج سينوسي منظم مي‌شود. با کنترل اختلاف فاز دو سروموتور مجاور، نوسان و همچنين دامنه چرخش محور سروموتورها، سرعت توليد و تعداد موج‌هاي سينوسي در باله ربات کنترل مي‌شود. افزايش اختلاف فاز در سروموتورهاي مجاور، موجب افزايش تعداد موج ها با رابطه (۱) مي‌شود،

$$N = \frac{\beta . n_f}{360} \qquad . n_f = N - 1 \qquad (1)$$

که در آنN، تعداد موج‌هاي توليد شده در باله و β، اختلاف فاز بين سروموتورهاي مجاور درباله است.

۷- نتايج آزمايشگاهي بر روي ربات ماهي

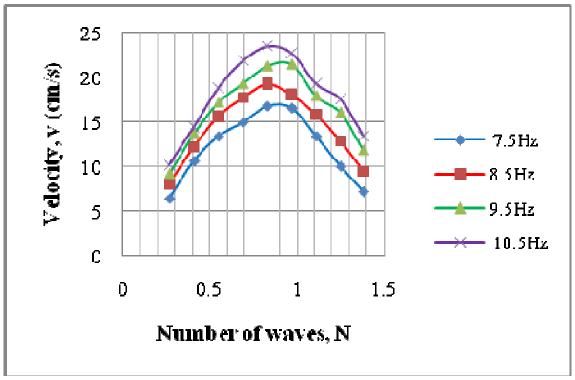
سرعت ربات ماهي، v، را بطور آزمايشگاهي براي اختلاف فازهاي گوناگون در سروموتورهاي مجاور، β، و در فرکانس هاي گوناگون سروموتورها، υ، اندازه گرفته‌ايم. در اين بررسي‌ها، اختلاف فاز بين سروموتورهاي مجاور در سراسر طول باله يکسان است. نتايج آزمايشگاهي مربوط به اين آزمايش در نمودار شکل (۱۰) آورده شده است.



شکل (۱۰): نمودار سرعت حرکت سروموتور بر حسب اختلاف فاز و فرکانس سروموتورها

مشاهده مي‌شود که با افزايش فرکانس سروموتورها، سرعت ربات ماهي افزايش مي‌يابد و سرعت بيشينه، همواره بين اختلاف فازهاي ۶۰ و ۷۰ درجه اتفاق مي‌افتد.

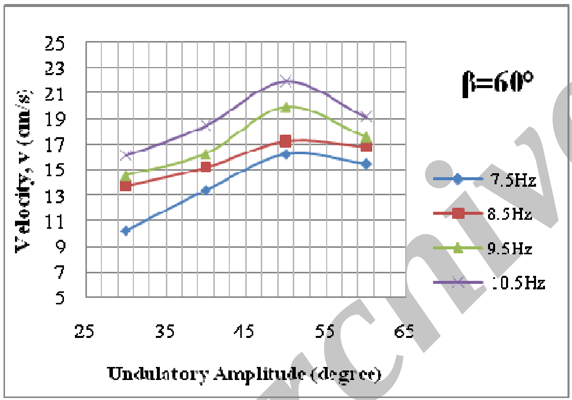
به کمک رابطه (۱) و نمودار شکل (۱۰)، سرعت ربات را برحسب تعداد موج‌هاي سينوسي توليد شده در باله و در فرکانس‌هاي گوناگون سروموتورها اندازه گرفته‌ايم. نتايج اين آزمايش‌ها در شکل (۱۱) نشان داده شده‌اند. ديده مي‌شود که بيشينه سرعت حرکت ربات هنگامي اتفاق مي‌افتد که تعداد موج‌هاي توليد شده در باله بين ۰/۸ و يک موج باشد.



شکل (۱۱) : نمودار سرعت حرکت سروموتور بر حسب تعداد موج‌هاي توليد شده در باله و فرکانس سروموتورها

اختلاف فاز لازم براي حرکت بهينه موج سينوسي در باله اين ربات ماهي برابر با ۶۰ درجه است که اين مقدار به کمک الگوريتم ژنتيک[۱۹] محاسبه شده است.

در آزمايش‌هاي ديگري سرعت شناي ربات بر حسب دامنه چرخش لنگ‌ها نسبت به خط طولي باله، در نوسانات مختلف و در β=۶۰ ° را اندازه‌گيري نموديم. نتايج اين بررسي در نمودار شکل (۱۲) نشان داده شده‌اند.



شکل (۱۲) : نمودار سرعت حرکت سروموتور بر حسب دامنه چرخش لنگ ها و فرکانس سروموتورها در β=۶۰ °

ديده مي‌شود که سرعت بيشينه همواره در دامنه ۴۴ تا ۴۶ درجه اتفاق مي‌افتد.

۸- نتيجه‌گيري

در اين مقاله با بيان ضرورت پيروي از طبيعت براي ساخت محصولات جديد، به مقايسه مکانيزم‌هاي گوناگون براي توليد نيروي پيشران درسيال پرداختيم و با برگزيدن مکانيزم باله موجي چندتکه‌اي با ميله‌هاي باله موازي، مزاياي اين نوع باله نسبت به پيشرانده‌هاي فعلي را بيان نموديم. طرح باله در اين مقاله در آينده مي‌تواند جايگزين مکانيزم هاي فعلي براي توليد

نيروي پيشران لازم براي حرکت و مانور شده و مضرات کاربرد پره‌ها،که به تفصيل به آن‌ها پرداختيم را به حداقل مقدار ممکن برساند. در ادامه مقاله مکانيزم مکانيکي ويژه‌اي را مخصوص کنترل عمق و جهت مانور ربات ماهي طراحي نموديم. سپس به طراحي مدارهاي الکترونيکي و مخابراتي لازم براي کنترل سرووموتورهاي بکار رفته در ربات ماهي پرداختيم. اين سيستم کنترلي به کمک يک سيستم بي‌سيم ربات ماهي را از خارج استخر و تا فاصله ۱۵۰ متري کنترل مي‌نمايد. سپس، يک نمونه ربات ماهي طبق مکانيزم و طرح‌هاي بيان شده در اين مقاله ساخته شد.

آزمايش‌ها نشان مي‌دهند که سرعت بيشينه همواره با افزايش فرکانس سرووموتورها افزايش مي‌يابد و در ربات ماهي بررسي شده در اين مقاله اين سرعت بيشينه همواره بين اختلاف فازهاي ٦٠ و ٧٠ درجه اتفاق مي‌افتد. در اين اختاف فازها تعداد موج توليد شده در باله بين ۰/۸ و ۱موج خواهد بود. هم‌چنين سرعت بيشينه همواره در دامنه چرخش لنگ بين ٤٤ و ٤٦ درجه اتفاق مي‌افتد. هم‌چنين با افزايش اختلاف فاز بين دو سرووموتور مجاور در باله، همواره دوران‌هاي نامناسب اطراف محورهاي مختصات، که منجر به کاهش تعادل ربات مي‌شود، کاهش مي‌يابد و اين موضوع سبب نوسانات سرعت کمتر در حرکت ربات ماهي مي‌شود.

آزمايش‌هاي زير فشار آب و بررسي عوامل موثر در افزايش بازدهي در اين شرايط، مي‌تواند دستور کار محققان قرار گيرد. در مطالعات آينده، پژوهشگران هم‌چنين مي‌توانند ظرفيت حمل بار و فاکتور هاي موثر در بالا بردن اين ظرفيت را بررسي نمايند. هماهنگي و کار گروهي ربات ماهي‌ها نيز مورد نظر محققان است [۱۳]. صرفه جويي در انرژي به وسيله توليد باله‌هاي الکتريکي و هم‌چنين توليد ربات‌هاي بسيار کوچك براي رفع محدوديت‌هاي فضايي نيز مورد توجه دانشمندان است [۱٤،۱۵].

۹- تشکر و قدرداني

نويسندگان از شرکت پالايش نفت تبريز به دليل تامين هزينه‌هاي مالي پروژه کمال تشکر را دارند.

۱۰- مراجع

[۱] سياه منصوري، محسن؛ طراحي مکانيزم وساخت يک ربات ماهي باله موجي با الهام گيري از knife fish، يازدهمين کنفرانس ملي مهندسي ساخت و توليد ايران، دانشگاه تبريز، ۱۳۸۹.

[۲] Low, K. H., ‘‘Modeling and parametric study of modular undulating fin rays for fish robots,’’, Mechanism and Machine Theory, Vol. 44, pp. 615-632, 2009..

[۳] Low, K. H., ‘‘Preface: Why biomimetic?,’’, Mechanism and Machine Theory, Vol. 44, pp. 511-512, 2009.

[۴] Low, K. H., ‘‘Parametric study of modular and reconfigurable robotic fish with oscillating caudal fin mechanisms,’’ International Conference on Mechatronics and Automation, Harbin, China, 2007.

[۵] Low, K. H., ‘‘Maneuvering of biomimetic fish by integrating a buoyancy body with modular undulating fins,’’ International Journal of Humanoid Robotics, Vol. 4, pp. 671-695, 2007.

[۶] Hu, T., Shen, L., Lin, L., Xu, H., ’’Biological inspirations, kinematics Modelling, mechanism design and experiments on an undulating robotic fin inspired by Gymnarchus niloticus,’’ Mechanism and Machine Theory, Vol. 44, pp. 633-645, 2009.

[۷] Zhang, D., Hu, D., Shen, L., Xie, H., ‘’Design of an artificial bionic neural network to control fish-robot `s locomotion,’’ Neurocomputing, Vol. 71, pp. 648-654, 2008.

[۸] Low, K. H., ‘‘Design, development and locomotion control of bio-fish robot with undulating anal fins,’’ International Journal of Robotics and Automation, Vol. 22, pp. 88-99, 2007.

[۹] Willy, A., Low, K. H., ‘‘Development and initial experiment of modular undulating fin for untethered biorobotic AUVs,’’ IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics.

[۱۰] Low, K. H., Willy, A., ‘‘Biomimetic motion planning of an undulating robotic fish fin,’’ Journal of Vibration and Control, Vol. 12, pp. 1337-1359, 2006.

[۱۱] Sfakiotakis, M., Lane, D. M., Davies, J. B. C., ‘‘Review of fish swimming modes for aquatic locomotion,’’ IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 24, pp. 237-252, 1999.

[۱۲] Lauder, G. V., Drucker, E. G., ‘‘Morphology and experimental hydrodynamics of fish fin control surfaces,’’ IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 29, pp. 556-571, 2004.

[۱۳] Shao, J., Wang, L., Yu, J., ‘‘Development of an artificial fish-like robot and its application in cooperative transportation,’’ Control Engineering Practice Vol. 16, pp. 569–584, 2008.

[۱۴] Sugiyama, K., Ishii, K., Kaneto, K., ‘‘Development of an oscillating fin type actuator for underwater robots,’’ International Congress Series, Vol. 1301, pp. 214–217, 2007.

[۱۵] Wanga, Z., Hanga, G., Li, J., Wang, Y., Xiao, K., ‘‘A micro-robot fish with embedded SMA wire actuated flexible biomimetic fin,’’ Sensors and Actuators A, Vol. 144, pp. 354–360, 2008.

۱۱- زیرنویس ها

---

[1] Knifefish
[2] Modular
[3] Servomotor
[4] Wireless
[5] Drag force
[6] Hu, T.
[7] Zhang, D.
[8] Fin rays
[9] Low, K.H.
[10] Willy, A.
[11] Crank
[12] University of defense technology, Changsha
[13] Nanyang technological university, Singapore
[14] Slider
[15] Anal fin
[16] Pectoral fin
[17] Microcontroller
[18] Radio transceiver
[19] Genetic algorithm