



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

# تعقیب مسیر شناورهای سطحی همراه با محدودیت های Rudder و

## Roll: روش MPC

چکیده:

مساله تعقیب مسیر شناورهای سطحی با کمک کنترلر سکان در این مقاله مورد بررسی قرار خواهد گرفت. تقویت محدودیت های Roll و محدودیت تغییر سکان هم از نظر شدت و هم اندازه باعث شکل گیری روشی به نام MPC (کنترل پیش بین مدل) گردیده است. طراحی MPC مبتنی بر مدل خطی برای فعالیت های اجرایی و محاسباتی بوده اگرچه ارزیابی عملکرد کنترلر MPC از طریق مدل غیر خطی شناور سطحی امکان پذیر است. نتایج شبیه سازی، اثربخشی کنترلر به دست آمده و شبیه سازی بر اساس فرآیند متعادل سازی را تایید نموده علاوه بر این، عملکرد تعقیب مسیر کنترلر MPC در زمینه امواج با کمک مدل یکپارچه ای مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت، مشخص گردید که این شبیه سازی از قدرت خوبی برخوردار است

مقدمه:

کنترل شناورهای سطحی به منظور تعقیب مسیر آن، در زمینه علوم دریایی جزء مشکلات اساسی بوده و توجهات زیادی را به خود جلب کرده است. یکی از مشکلات مربوط به تعقیب مسیر شناورهای سطحی از این واقعیت نشات گرفته که سیستم ها معمولاً به خوبی به پرسنل آموزش داده نمی شوند. کشتی ها اغلب دارای یک یا دو پروانه برای تقویت سرعت خود می باشند. در زمینه مانور و تمرین نظامی کشتی ها، (نظیر تعقیب مسیر و دریایی مسیر) ، باید تمام سه درجه آزادی (نوسانی، انحرافی و افقی) را کنترل نموده و در عین حال انجام دو نوع کنترل هیچ تاثیری بر این 3 متغیر نخواهد گذاشت بنابراین مشکل کنترل مطرح خواهد شد. پیشرفت های اخیر در زمینه سیستم های کنترل غیر خطی و کنترلر سیستم های تحریک شده، باعث ارائه ابزارها و راه حل های نوینی برای تمام مشکلات 3-DoF با کمک دو کنترلر مستقل گردید.

چالش دیگر در زمینه تعقیب مسیر در شناورهای سطحی، محدودیت های فیزیکی در ورودی کنترل با عنوان محدودیت اندازه سکان و اشباع سکان است به تازگی، مشخص شد که حرکت roll باعث افزایش شتاب گردیده که آن را به عنوان یکی از عوامل آسیب رسان به کشتی در نظر می گیرند بنابراین در طراحی سیستم ها باید با کنترل شناورهای سطحی دقت نمود. اگرچه روش های کنترل غیر خطی نظیر مطالب ذکر شده در مرجع 9 | 1، توجه چندانی به محدودیت های ورودی و خروجی در طراحی سیستم، نمی کنند اما در شبیه سازی های عددی و آزمون های خطا و بررسی پارامترهای کنترل، همواره محدودیت های دیگری مطرح می شوند. برخی از روش های کنترلی نظیر کنترل پیش بین مدل یا همان MPC از مزیت های زیادی در توجه به محدودیت های ورودی و خصوصیات برخوردار اند. منبع شماره 14 به مسئله اشباع سکان در کنترلر MPC به منظور کنترل ردیابی شناورهای سطحی و دستیابی به ROLL کاهش یافته با کمک روش MPC اشاره دارد. برای بررسی بیشتر مشکل تعقیب مسیر در این مقاله، باید با کمک زاویه سکان، خطای ردیابی را به دقت بررسی نموده و محدودیت های سکان را شبیه سازی نمود نحوه استفاده از روش MPC در مطالعات پیشین چندان به وضوح ذکر نشده است.

MPC یا همان کنترل افقی پسرو (RHC)، تکنیک کنترلی بوده که با توجه به محدودیت های ورودی و حالت، بهینه گردیده است. طی چند سال اخیر، MPC در موارد متعددی با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته از جمله سیستم های هوا فضا، خودروسازی، تولید مواد غذایی و مواد شیمیایی. با استفاده از مدل ضمنی و ویژگی های فعلی به عنوان ویژگی های اولیه می توان مشکل کنترل بهینه افقی open-loop را در تمام فواصل نمونه گیری برطرف نمود. علاوه بر این، به خاطر ماهیت سیستم های چند متغیره، MPC را می توان با ترکیب در توابع مجزای هدف، در مسائل بیشتری مورد استفاده قرار داد.

این مقاله، طراحی MPC را در مسائل تعقیب مسیر در یک مدل ترکیبی در ارتباط با شناورهای سطحی و مسیر 2-DoF نشان می دهد. توجه ما بر دستیابی به محدودیت های حالت و ورودی بوده اگرچه باید روش تعقیب مسیر نیز به عملکرد قابل قبولی دست یابد. مدل خطی 3-DoF به خوبی با

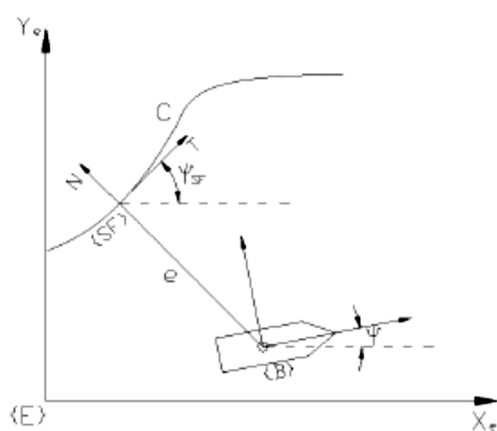
کنترلر موجود سازگار شده و از مدل غیر خطی 4-DoF برای شبیه سازی و بررسی تعاملات میان روش های کنترل تعقیب مسیر استفاده به عمل می آید. عملکرد تعقیب مسیر کنترل فوق و میزان حساسیت آن به پارامترهای اصلی کنترلر نظیر زمان نمونه گیری، شاخص های وزنی در توابع هزینه، با کمک شبیه سازی های عددی تجزیه و تحلیل خواهد شد. در نهایت اینکه، اثربخشی کنترلر MPC در زمینه امواج نیز با کمک شبیه سازی آزمایشات عددی در ترکیب با میزان پویایی کشتی و تاثیر امواج بر شناور، اندازه گیری شده است.

این مقاله بدین شرح است: بخش 2: شرح مدل 4-DOF و مدل خطی 3-DoF همراه با معادلات مربوطه برای سهولت در طراحی کنترلر تعقیب کننده مسیر. بخش 3: توسعه الگوریتم MPC برای ارزیابی مساله تعقیب مسیر همراه با محدودیت های roll و سکان. بخش 4: نتایج شبیه سازی در آب های آرام و آب های موج دار و در بخش 5 نیز بحث و گفتگو پیرامون پارامترهای کنترلر و نتیجه گیری نهایی ذکر شده اند.

میزان پویایی خطای تعقیب مسیر و مدل شناورهای سطحی:

A: میزان پویایی خطای تعقیب مسیر:

در ادبیات، مساله تعقیب مسیر در شناورهای سطحی با کمک دو روش متفاوت بررسی گردیده است: 1) مساله کنترل مسیر و 2) تغییر مساله کنترل مسیر و ازگاری با مسیر درست با توجه به نوع خطای موجود. در روش دوم، از تابع فرنت - سرت نیز استفاده شده است



شکل 1: تصویری از مختصات در فرم زمین E، فرم بدنه کشتی B و فرم فرنت - سرت SF

شکل 1 نشان می دهد که می توان در کنترل تعقیب مسیر از تابع فرنت - سرت استفاده نمود. مبداء SF در نزدیک ترین نقطه به منحنی C از مبدا B قرار دارد. میزان پویایی خطا مبتنی بر معادلات فرنت - سرت نیز بدین صورت محاسبه می شود:

$$\begin{aligned}\dot{\bar{\psi}} &= \dot{\psi} - \dot{\psi}_{SF} \\ &= \frac{\kappa}{1 - e\kappa}(u\sin\bar{\psi} - v\cos\bar{\psi}) + r,\end{aligned}\quad (1)$$

$$\dot{e} = u\sin\bar{\psi} + v\cos\bar{\psi}, \quad (2)$$

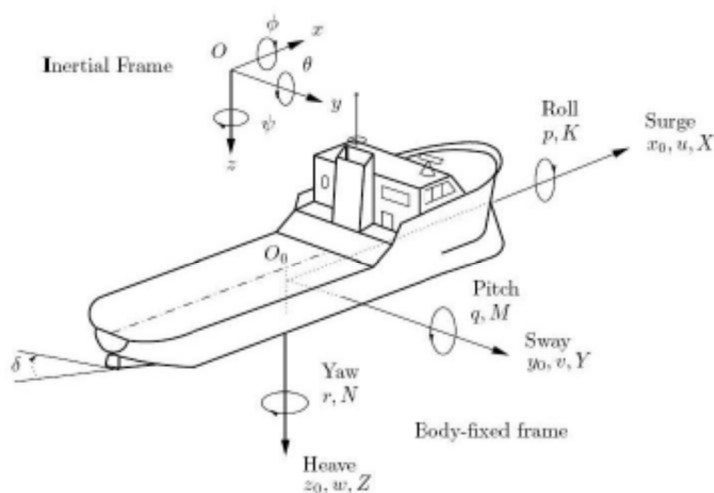
در این معادلات،  $e$  فاصله بین مبدا SF و B و  $\bar{\psi} := \psi - \psi_{SF}$  نیز اشاره به خطای cross-track و خطای مسیر و  $u, v, r$  به ترتیب مربوط به درجات آزادی surge, yaw, sway،  $\bar{\psi}$  زاویه مسیر شناور و  $\psi_{SF}$  مسیر مماسی مطابق با شکل 1 و  $k$  میزان انحناء مسیر موجود می باشند. هدف اصلی مساله تعقیب مسیر، رسانیدن دو مقدار  $e$  and  $\bar{\psi}$  به صفر است.

در بسیاری از مسائل تعقیب مسیر در شناورهای سطحی دریاهای باز، مسیر به عنوان خطی مستقیم یا مسیری چند بخشی متشکل از خطوط راست تکه تکه در نظر گرفته می شود. در این موارد، انحناء  $\kappa$  صفر بوده از این رو میزان پویایی خطای هدینگ به صورت زیر ساده می شود:

$$\dot{\bar{\psi}} = r. \quad (3)$$

### B: مدل شناورهای سطحی:

شناورهای سطحی دارای 6 درجه آزادی بوده که در شکل 2 رسم شده اند. دو فریم در این شکل دیده می شود. یکی مربوط به زمین و دیگری مربوط به بدنه کشتی است.



شکل 2: فریم مرجع و متغیرهای تشریح کننده حرکت کشتی

مقادیری که موقعیت و جهت کشتی را نشان می دهند معمولاً در فریم اینرسی و با مختصات  $[x, y, z]^T$  and  $[\psi, \phi, \theta]^T$  نشان داده می شوند. نیروهای  $[X, Y, Z]^T$ ، گشتاور  $[K, M, N]^T$ ، سرعت خطی  $[u, v, w]^T$  و سرعت زاویه ای  $[p, q, r]^T$  در فریم بدنه کشتی نشان داده شده همانطور که در شکل 2 قابل مشاهده اند. در تمرین های نظامی شناورهای سطحی، معمولاً DoFs با عنوان surge, sway, yaw و pitch مطرح می شوند. در این مقاله، به منظور بررسی مساله تعقیب مسیر همراه با محدودیت های roll، مدل 4-dof نیاز بوده که مدل 3-dof را به صورت p در نظر می گیریم. مدل ریاضی کشتی را می توانید در مرجع 21 مشاهده کنید. مدل 4-dof دارای 2 نقطه کنترل و 10 ویژگی غیر خطی بسطین صورت است  $X = [u, v, r, p, x, y, \psi, \phi, n, \delta]^T$  and  $U = [n_c, \delta_c]^T$  همان سرعت surge, yaw, sway متناسب با فریم بدنه کشتی بوده و جابه جایی های مرتبط با فریم اینرسی به صورت  $\phi$  and  $\psi$  بیان شده اند. دو حالت دیگر نیز زاویه سکان  $\delta$  و سرعت شافت پروانه کشتی می باشند. در این مدل، محدودیت های سرعت و اشباع ورودی پیستون هم مورد بررسی قرار گرفته اند. مدل غیر خطی 4-dof جزء مدل های بسیار فراگیر کشتی در ادبیات پیشین محسوب شده و در شرایط عملیاتی فراوانی بررسی گردیده است.

با این حال، استفاده از مدل کشتی مرتبه دهم برای اجراء و پیاده سازی MPC از نظر محاسباتی به علت دواری هایی در بهینه سازی محدودیت های غیر خطی، مجاز نیست. در مقاله ما، از مدل غیر خطی مرتبه 10 به عنوان کشتی مجازی برای انجام شبیه سازی استفاده شده و در طرح کنترل، مدل خطی ذیل بر اساس روش طراحی مدل، ارائه گردیده است:

$$\dot{v} = a_{11}v + a_{12}r + a_{13}p + a_{14}\phi + b_1\delta, \quad (4)$$

$$\dot{r} = a_{21}v + a_{22}r + a_{23}p + a_{24}\phi + b_2\delta, \quad (5)$$

$$\psi = r, \quad (6)$$

$$\dot{p} = a_{31}v + a_{32}r + a_{33}p + a_{34}\phi + b_3\delta, \quad (7)$$

$$\dot{\phi} = p, \quad (8)$$

که  $a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}, a_{31}, a_{32}, a_{33}, a_{34}, b_1, b_2$  and  $b_3$  پارامترهای ثابت

بوده و سرعت surge نیز به صورت ثابت فرض شده است.

عملکرد این سیستم کنترل با کمک مدل مرتبه کاهش یافته ارزیابی شده و از کنترلر یکسان برای کل مدل استفاده به عمل آمده است.

معادلات MPC در ارتباط با کنترل تعقیب مسیر:

این بخش، معادلات کنترلر MPC را در مسائل تعقیب مسیر شناورهای سطحی ارائه می کند. به منظور سهولت کار، ما ماتریس خطا را با ماتریس پویایی کشتی به صورت زیر ترکیب نموده ایم:

$$\dot{\bar{x}} = A\bar{x} + B\delta, \quad (9)$$

where

$$\bar{x} = [e, \psi, v, r, p, \phi]^T, \quad (10)$$

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} 0 & u & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ 0 & 0 & a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ 0 & 0 & a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \bar{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

با توجه به زمان نمونه گیری  $T_s$ ، معادله ذیل به دست می آید:

$$\bar{x}_{k+1} = A\bar{x}_k + B\delta_k. \quad (12)$$

سپس بهینه سازی آنلاین MPC نیز بدین صورت خواهد بود: در هر زمان  $k$ ، توالی کنترل بهینه  $\{\delta_k^*, \delta_{k+1}^*, \dots, \delta_{k+N-1}^*\}$  را به منظور مینیمم سازی تابع هزینه ذیل، بیابید

$$J(U_k, \bar{x}_k) = \sum_{j=0}^N (\bar{x}_{k+j}^T Q \bar{x}_{k+j} + \delta_{k+j-1}^T R \delta_{k+j-1}), \quad (13)$$

$$-\delta_{max} \leq \delta_{k+j} \leq \delta_{max}, \quad j = 0, 1, \dots, N-1, \quad (14)$$

$$-\Delta\delta_{max} \leq \delta_{k+j} - \delta_{k+j-1} \leq \Delta\delta_{max}, \quad j = 0, 1, \dots, N-1, \quad (15)$$

$$-\bar{x}_{max} \leq \bar{x}_{k+j} \leq \bar{x}_{max}, \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad (16)$$

$Q, R$  به ترتیب معیار وزن دهی و  $\Pi$  افق پیش بینی کننده بوده و قانون کنترل زیر نیز ارائه شده است

$$\delta_k = \delta_k^*$$

از آنجایی که تابع هزینه 13 در  $\bar{x}$  and  $\delta$  به صورت معادله درجه دوم بوده و تمام محدودیت ها، خطی اند، در نتیجه به منظور حل معادلات بهینه سازی از روش برنامه ریزی درجه دوم QP استفاده می کنیم. در این مقاله، بهینه سازی و شبیه سازی در برنامه متلب انجام شد. با کمک شبیه سازی، فضای طراحی MPC که متشکل از زمان نمونه گیری  $T_s$ ، افق پیش بینی کننده  $N$  و معیارهای وزنی  $Q, R$  هستند با توجه به عملکردهای مختلف سیستم، به دست آمده اند.

نتایج شبیه سازی و متعادل سازی پارامترهای کنترل:

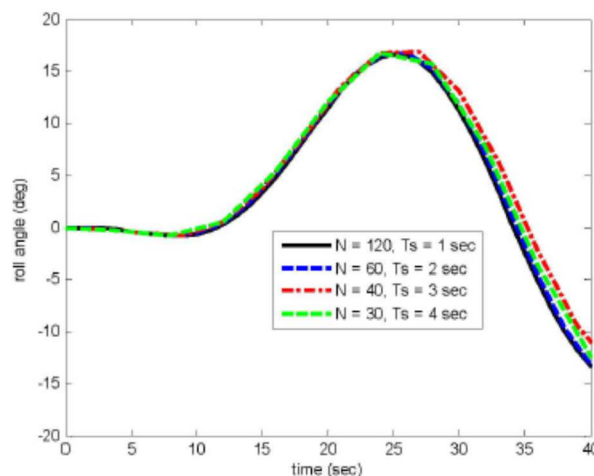
قانون کنترل ارائه شده در مدل غیر خطی با مرتبه کامل اجرا شده است. اشباع محرک و محدودیت های اندازه آن ( $|\delta| \leq 35 \text{ deg}$  and  $|\dot{\delta}| \leq 5 \text{ deg/sec}$ ) در شبیه سازی با یکدیگر ترکیب شده اگرچه محدودیت های مختلف دیگر برای ارزیابی اثربخشی MPC بکار برده شده اند. بر این اساس، می توان برای داشتن  $Q = \{0.0001, c_1, 0, 0, 0, 0\}$ ،  $R = c_2$ ، از  $Q, R$  استفاده



نموده و تابع هزینه ها نیز به صورت  $J = \sum_{j=1}^N (0.0001 e_{k+j}^2 + c_1 \psi_{k+j}^2 + c_2 \delta_{k+j-1}^2)$ : همراه با مقادیر مثبت  $c_1, c_2$  خواهد بود.

### A: انتخاب زمان نمونه گیری:

دستورالعمل کلی در انتخاب نمونه گیری در سیستم های مجزا حدود 4 تا 10 نمونه در هر زمان بوده که حدودا 18 ثانیه به طور می انجامد. بنابراین، انتخاب نمونه گیری می تواند 1 تا 4 ثانیه باشد. بر اساس نوع استفاده از MPC، زمان نمونه گیری اندک فیدبک بیشتری را ارائه نموده اما نیاز به بهینه سازی گسترده تری دارد. در شکل 3 می توانید خلاصه ای از زمان های مختلف نمونه گیری را مشاهده کنید. در هر شبیه سازی، پنجره زمان پیش بینی کننده باید 120 ثانیه تنظیم شود تا بتوان فواصل مختلف نمونه گیری را به دست آورد. با توجه به شکل 3، می توان میزان واکنش زاویه Roll در 1 ثانیه و دوره نمونه گیری 2 ثانیه ای را مشاهده نمود. شکل 3 نشان می دهد که  $T_s = 2 \text{ sec}$  می تواند شاخص خوبی برای اجراء و پیاده سازی کنترلر MPC باشد.



شکل 3: نتایج شبیه سازی واکنش کشتی همراه با زمان های مختلف نمونه گیری

### B: افق پیش بینی:

طول و مدت افق پیش بینی  $N$  در کنترلرهای MPC یک پارامتر اساسی بوده و معمولا عملکرد کنترلر با افزایش  $N$  بیشتر می شود. تاثیر  $N$  بر عملکرد تعقیب مسیر در شکل 4 ارائه شده است. با توجه به این شکل، می توان گفت که هرچه قدر افق پیش بینی بزرگتر باشد سرعت تعقیب مسیر

افزایش یافته و مزیت های زیادی عاید سیستم خواهد شد. با توجه به هزینه های سنگین محاسباتی افق پیش بینی طولانی، می توان نتیجه گرفت که مقدار 40 – 60 می تواند مقدار خوبی برای پیش بینی N ظرف 2 ثانیه نمونه گیری محسوب شود.

با توجه به تلاش های محاسباتی در اجراء MPC در شناورهای سطحی، مساله بهینه سازی با 2 ثانیه فاصله نمونه گیری و افق پیش بینی 60 مرحله ای را می توان در شبیه سازی 6. ثانیه ای با کامپیوترهای پنتیوم 4 انجام داد .

	G1	G2	G3	G4	G5
$c_1$	8	1.6	40	8	8
$c_2$	1	1	1	0.1	10

جدول 1: بهره کنترلر در شبیه سازی

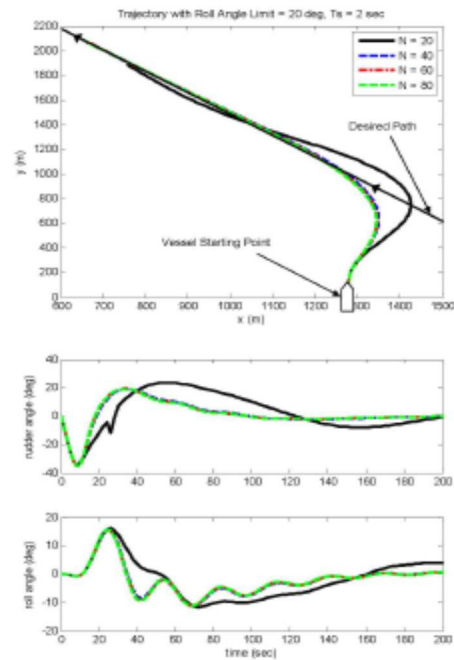
### C: تاثیر معیارهای وزنی Q,R:

معیارهای وزنی Q,R به عنوان دو پارامتر اصلی در شکل دهی عملکرد های مطلوب مورد استفاده قرار می گیرند. مقادیر عددی بهره های مختلف در شبیه سازی در جدول 1 ذکر شده است. ارزیابی میزان حساسیت عملکرد به این معیارها باید به دقت بررسی شود.

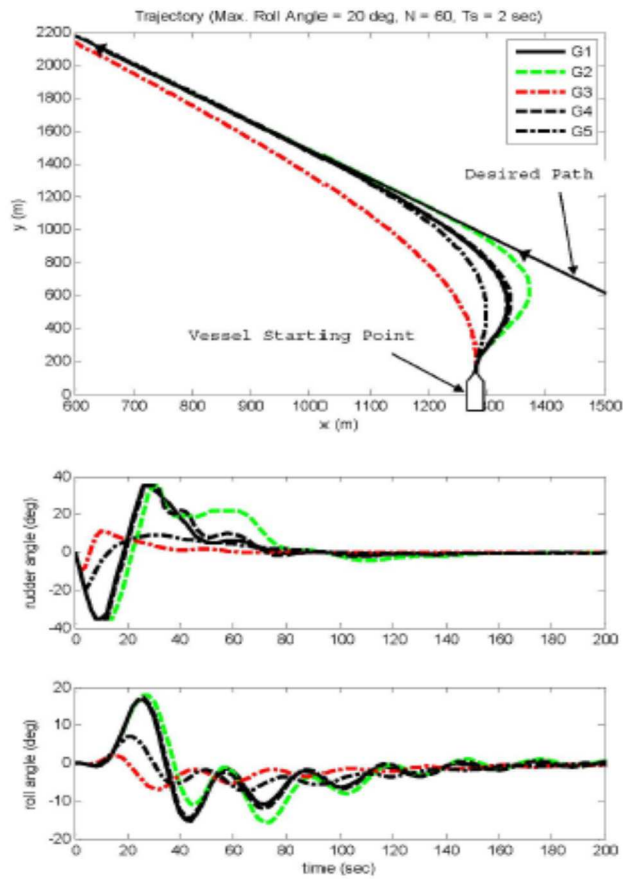
نخست مشاهده شده که عملکرد تعقیب مسیر با کمک مقدار  $c_1$  تعیین شده که در شکل 5 می توانید مراحل وزن دهی  $G_1$ ,  $G_4$  ,  $G_5$  را مشاهده کنید. شبیه سازی ها با کمک ترکیبات متعددی از  $c_1, c_2$  صورت گرفته و نتایج تقریباً مشابهی نیز به دست آمده است. برای تایید این نتایج، باید آنالیز خطی سیستم حلقه بسته را با کنترلر MPC انجام داد میزان حساسیت عملکرد تعقیب کننده مسیر به پارامتر  $c_1$  در شکل 5 ذکر شده است. در این شبیه سازی ها، مقدار  $c_1$  در محدوده 1.6 تا 40 بوده است .

ثانیا، زمانی که  $c_1$  برای دستیابی به عملکرد مطلوب در تعقیب مسیر بکار برده شود پارامتر  $c_2$  نیز برای تغییر واکنش سکان و roll بکار برده می شود. مجدداً مقادیر  $G_1$ ,  $G_4$  ,  $G_5$  و تاثیر بر روی  $c_2$  را در نظر بگیرید.

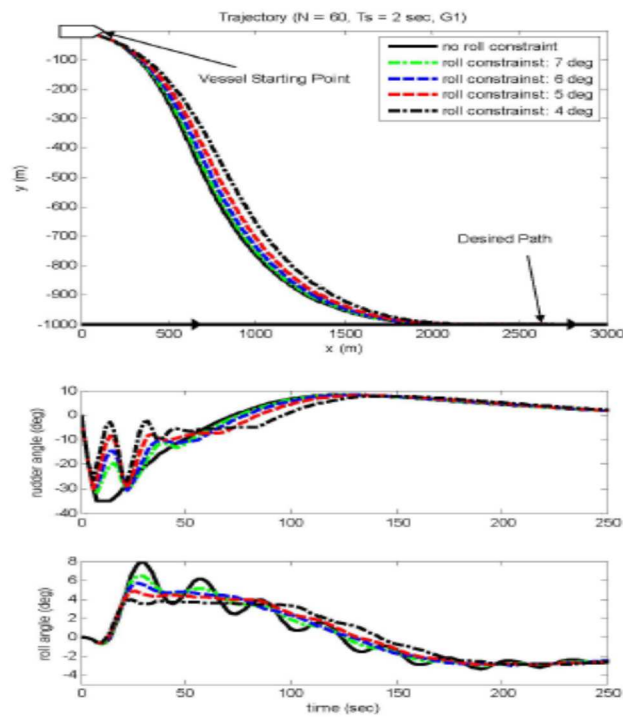
با کمک آنالیزهای انجام شده می توان مسیر MPC را تعیین نمود: ابتدا  $c2 = 1$  را تعیین نموده و مقدار  $c1$  برای دستیابی به عملکرد بهینه ای از تعقیب مسیر متغیر است (2) مقدار  $c1$  را در حالت ثابت نگه داشته و مقدار  $c2$  را برای واکنش roll و سکان تغییر دهید.



شکل 4: نتایج شبیه سازی عکس العمل کشتی در افق پیش بینی مختلف



شکل 5: نتایج شبیه سازی مرتبط با واکنش کشتی در ماتریس های وزن دهی مختلف



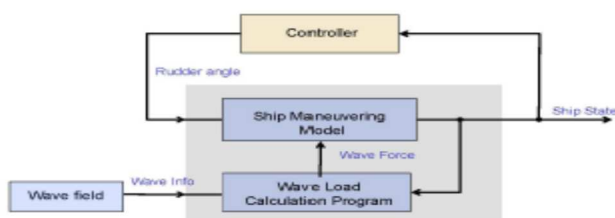
شکل 6: نتایج شبیه سازی مرتبط با واکنش کشتی در ارتباط با محدودیت های مختلف roll

D: تقویت محدودیت های ROLL:

در مجموع، با توجه به سرعت همگرایی و مینیمم سازی ROLL، محدودیت های roll را می توان بر اساس عملکرد تعقیب مسیر در شناورها تعیین نمود. برای آشنایی با این محدودیت ها، می توانید نتایج شکل 6 را مشاهده کنید. بر این اساس، محدودیت های roll باعث کاهش سرعت تغییر مسیر شده با این حال، کنترلر MPC می تواند زاویه چرخش سکان را افزایش دهد اگر محدودیت های roll کمتر از 2 درجه باشد شناور زمان زیادی را صرف همگرا شدن با مسیر خواهد کرد.

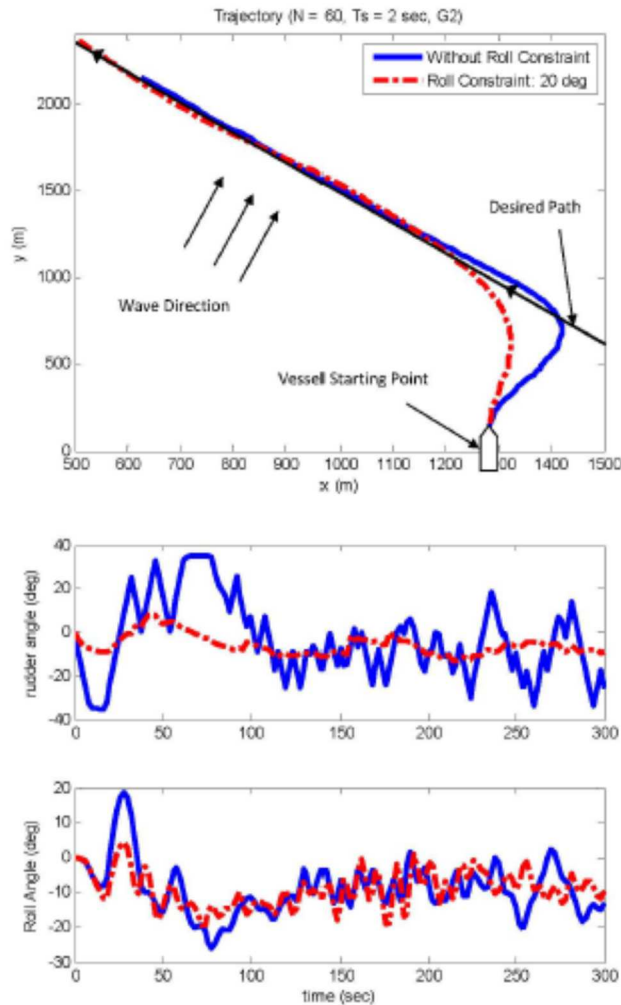
### E: ارزیابی عملکرد MPC در میدان موجی:

کنترلر MPC که در مدل خطی در آب های آرام توسعه یافته با توجه به میدان موجی ارزیابی شده و عملکرد آن به دقت بررسی خواهد شد. آشفتگی های موجود به صورت اثرات مرتبه اول و دوم با عنوان بار القایی موجی و بار drift موجی، بیان می شوند. این دو بار باید به طور مجزا محاسبه شوند. شکل 7، نمودار مدل کلی را نشان می دهد برنامه بار موجی، نیروهای القا شده موج و گشتاور را بر اساس وضعیت کشتی و اطلاعات میدانی محاسبه می کند. مدل تجربی کشتی تحت تاثیر نیرو و گشتاور موج ها قرار گرفته که در مرجع 24، جزئیاتی راجع به آزمون های عددی ذکر شده است.



شکل 7: نمودار مدل شبیه سازی

نتایج شبیه سازی مربوط به کنترلر تعقیب مسیر MPC در میدان موجی بدون محدودیت roll و همراه با محدودیت های 20 درجه ای در شکل 8 نشان داده شده است. ارتفاع موج در این شبیه سازی 3.25 متر بوده است. با توجه به شکل 8 می توان دید که کنترلر MPC به عملکرد مطلوبی در تعقیب مسیر دست یافته اما سرعت همگرایی پایین به علت اثرات امواج بر مدل می باشد. اگر محدودیت های roll را تغییر دهیم، شناور احتمالاً تغییر مسیر خواهد داد به منظور بهبود بازدهی این کنترلر می توان به بررسی ویژگی های امواج پرداخت.



شکل 8: نتایج شبیه سازی در ارتباط با واکنش کشتی در میدان موج

### نتیجه گیری:

در این مقاله، روش MPC به بررسی تعقیب مسیر در شناورهای سطحی همراه با محدودیت های ورودی و حالت، پرداخت. معادلات مربوط به MPC و نتایج شبیه سازی نشان دادند که MPC می تواند به خوبی مسیر شناورهای سطحی را شناسایی نموده و محدودیت های ورودی و حالت را نیز جبران سازد. علاوه بر این، MPC در میدان موجی نیز از قدرت بالایی برخوردار است. آنالیز حساسیت عملکرد MPC بر اساس زمان نمونه گیری، افق پیش بینی و معیارهای وزن دهی نیز بررسی شده که منجر به تغییر پارامترهای MPC گردیده اند. مدت نمونه گیری 2 ثانیه ای و افق پیش بینی  $(N \approx 50)$  نشان می دهند که اجراء MPC در زمان واقعی برای بررسی مسیر شناورهای سطحی با کمک منابع محاسباتی موجود امکان پذیر است.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی