

Sine-Cosine Algorithm Based PID Controller for a Catamaran

Ömer Sinan ŞAHİN^{1*}, Mustafa Şinasi AYAS²

¹Faculty of Maritime/Marine Engineering, Recep Tayyip Erdogan University, Rize, Turkey

²Faculty of Engineering/Electrical and Electronics Engineering, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey

*Corresponding author: osinan.sahin@erdogan.edu.tr

Abstract – In this study, control of an active T-foil placed near to the bow and two active flaps located on the transom of a catamaran is performed to improve the maritime performance of the catamaran and to increase the comfort and safety of both passengers and crew. In the scope of the study, heave and pitch motions of the catamaran under the effect of subjected to head waves are considered. Sine-cosine algorithm based PID controller is employed for the control of active flap and T-foil actuators. The purpose of the optimally tuned PID controller is to reduce the vertical acceleration by controlling the position of the catamaran, especially controlling the angles of the flaps and the T-foil. Mathematical models of the catamaran and actuators are presented and MATLAB / Simulink platform is utilized simulate the control process. Simulation results show that optimally tuned PID controller provides satisfactory results in active flap and T-foil control which effectively reduce vertical acceleration.

Keywords – Catamaran, Sine-cosine algorithm, PID controller, Optimization, Heave-Pitch motion, Flap, T-foil

Bir Katamaran için Sinüs-Kosinüs Algoritması Tabanlı PID Denetleyici

Ömer Sinan ŞAHİN^{1*}, Mustafa Şinasi AYAS²

¹Denizcilik Fakültesi/Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi/Elektrik Elektronik Mühendisliği, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye

*Sorumlu yazar: osinan.sahin@erdogan.edu.tr

Özet – Bu çalışmada, bir katamaranın denizcilik performansını iyileştirmek, yolcu ile mürettebatın konfor ve güvenliğini artırmak için tekne kış tarafına yerleştirilen iki adet aktif flap ile baş tarafa yakın bir noktaya yerleştirilen aktif T-foil eyleyicilerinin denetimleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında baştan gelen dalgaların etkisindeki katamaranın düşey yönde yaptığı baş kış vurma ve dalıp çıkma hareketleri dikkate alınmıştır. Flapların ve T-foilin denetimi için ise sinüs-kosinüs algoritması tabanlı PID denetleyici kullanılmıştır. Bu denetleyicinin amacı, flapların ve T-foilin açılarının değiştirilmesiyle katamaranın pozisyonunu kontrol ederek düşey ivmelenmeyi azaltmaktır. Katamaranın ve eyleyicilerin matematiksel modelleri sunulmuştur ve kontrol süresinin benzetimi MATLAB / Simulink platformunda gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, parametreleri optimize edilen PID denetleyicinin, düşey ivmelenmeyi etkili bir şekilde azaltan flap ve T-foil eyleyicilerin denetimini başarıyla gerçekleştirdiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler – Katamaran, Sinüs-kosinüs algoritması, PID denetleyici, Optimizasyon, Dalıp çıkma, Baş kış vurma, Flap, T-foil

I. GİRİŞ

Hızlı deniz araçları üzerinde yapılan çalışmaların temel amacı, yolcu ve mürettebatın konforunu, güvenliğini, geminin denizcilik performansını koruyarak daha dengeli bir seyir sağlamaktır. Geminin yapmış olduğu dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketleri düşey ivmelenmeye neden olmaktadır. Düşey ivmelenmeye neden olan hareketleri azaltmak ve gemilerin denizcilik performansını artırmak için gemi hareketlerini kontrol etmek gerekir.

Dalgaların neden olduğu dikey hareketi yumuşatmanın birçok yolu vardır. Bu yöntemlerden biri de gelen dalgalara karşı koymak için aktif eyleyiciler kullanmaktır. Aktif

eyleyicilerin verimliliğini en üst seviyeye çıkarmak için iyi tasarlanmış, kararlı ve hassas bir denetleyiciye ihtiyaç duyulur [1].

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmanın amacı, yüksek hızlı bir katamaranın düşey ivmelenmesine neden olan dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketlerinin, flap ve T-foil eyleyicilerinin aktif denetimi ile önlenmesini sağlamaktır. Çalışmada denetleyici olarak sinüs-kosinüs algoritması tabanlı PID denetleyici kullanılmıştır. Çalışmalar, hızlı katamaranın 40 knot sabit

seyir hızında ilerlediği ve dalgaların baştan geldiği varsayılarak yapılmıştır.

Denetim çalışmaları kapsamında hızlı feribotun kış aynasına yerleştirilen iki adet flap ile pruvaya yakın bir noktada omurga hattına yerleştirilen T-foilin farklı açıklıklarda denetimi sağlanarak hızlı katamaranın düşey ivmelenmesine etkisi incelenmiştir.

A. Hızlı Katamaran ve Dalga Modeli

Bu çalışmada sadece düşey hareketler modellendiği için Denklem (1) ile verilen dalıp çıkma hareketi ve Denklem (2) ile verilen baş kış vurma hareketi kullanılmıştır [2].

$$(m + A_{33})\ddot{x}_3(t) + B_{33}\dot{x}_3(t) + C_{33}x_3(t) + A_{35}\ddot{x}_5(t) + B_{35}\dot{x}_5(t) + C_{35}x_5(t) = F_3 \cos(\omega_e t + \beta_3) \quad (1)$$

$$(I_5 + A_{55})\ddot{x}_5(t) + B_{55}\dot{x}_5(t) + C_{55}x_5(t) + A_{53}\ddot{x}_3(t) + B_{53}\dot{x}_3(t) + C_{53}x_3(t) = F_5 \cos(\omega_e t + \beta_5) \quad (2)$$

Yukarıdaki denklemlerde m geminin kütesini, A_{33} dalıp çıkma hareketinden kaynaklanan ek su kütesini, A_{55} baş kış vurma hareketinden kaynaklanan ek kütle atalet momentini, B_{33} dalıp çıkma hareketi sönüm kuvveti katsayısını, B_{55} baş kış vurma hareketi sönüm momenti katsayısını, \ddot{x}_3 dalıp çıkma hareketinin ivmesini, \dot{x}_3 dalıp çıkma hareketinin hızını, x_3 dalıp çıkma hareketini, \ddot{x}_5 baş kış vurma hareketinin ivmesini, \dot{x}_5 baş kış vurma hareketinin hızını, x_5 baş kış vurma hareketini, F_3 dalıp çıkma hareketinin kuvvetini, F_5 baş kış vurma hareketinin momentini, β_3 dalıp çıkma kuvveti faz farkını, β_5 baş kış vurma momenti faz farkını, I_5 baş kış vurma hareketinin atalet momentini, C_{33} dalıp çıkma doğrultucu kuvvet katsayısını, C_{55} baş kış vurma doğrultucu moment katsayısını ifade etmektedir.

Denklem (1) ve (2)'den yola çıkarak hızlı katamaranın 40 knot hızda yaptığı hareketlerden kaynaklanan kuvvet ve momentlerin transfer fonksiyonlarını elde etmek için sistem ayrılabilir [3].

$$\begin{aligned} Fh2H &= \frac{0.0000031s^2 + 0.000001982s}{s^4 + 0.7139s^3 + 15.15s^2 + 4.644s + 44.17} \\ &\quad + \frac{0.00001895}{s^4 + 0.7139s^3 + 15.15s^2 + 4.644s + 44.17} \\ Mp2H &= \frac{-0.00000009518s^2 - 0.0000001823s}{s^4 + 0.7139s^3 + 15.15s^2 + 4.644s + 44.17} \\ &\quad + \frac{0.0000004124}{s^4 + 0.7139s^3 + 15.15s^2 + 4.644s + 44.17} \\ Fh2P &= \frac{-0.00000009643s^2 + 0.000000123s}{s^4 + 0.7139s^3 + 15.15s^2 + 4.644s + 44.17} \\ &\quad - \frac{0.0000004124}{s^4 + 0.7139s^3 + 15.15s^2 + 4.644s + 44.17} \\ Mp2P &= \frac{0.00000007949s^2 + 0.00000000375s}{s^4 + 0.7139s^3 + 15.15s^2 + 4.644s + 44.17} \\ &\quad - \frac{0.00000004501}{s^4 + 0.7139s^3 + 15.15s^2 + 4.644s + 44.17} \end{aligned} \quad (3)$$

Yukarıdaki transfer fonksiyonlarında Fh2H ve Mp2H sırasıyla dalıp çıkma hareketinden kaynaklanan kuvvet ve momenti, Fh2P ve Mp2P sırasıyla baş kış vurma hareketinden kaynaklanan kuvveti ve momenti temsil etmektedir.

Hızlı katamaranın 40 knot hızdaki hidrodinamik katsayılarına dayanarak modelin transfer fonksiyonunu zorlayacak dalga modeli elde edilmiştir [3].

$$\begin{aligned} W2Fh &= \frac{-13090s^2 + 334300s - 1463000}{s^4 + 5.1s^3 + 12.76s^2 + 15.28s + 1.67} \\ &\quad + \frac{1018000 - 15330000}{s^4 + 5.1s^3 + 12.76s^2 + 15.28s + 1.67} \\ W2Mp &= \frac{121300s^4 - 789400s^3 - 34860000s^2}{s^4 + 3.144s^3 + 10.1s^2 + 12.12s + 1.67} \\ &\quad + \frac{38000000s + 94140000}{s^4 + 3.144s^3 + 10.1s^2 + 12.12s + 1.67} \end{aligned} \quad (4)$$

W2Fh, dalgadan kaynaklanan kuvvete ilişkin transfer fonksiyonunu, W2Mp ise dalgadan kaynaklanan momente ilişkin transfer fonksiyonunu göstermektedir.

Model olarak kullanılan hızlı katamaranın geometrik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir [4].

Tablo 1. Hızlı katamaranın boyutları

Boyut Tanımı	Sembol	Değer	Birim
Baştan kışa uzunluk	LOA	86	m
Maksimum genişlik	B	17.6	m
Draft	T	2.6	m
Deplasman	Δ	710	ton
Seyir Hızı	V	40	knot

B. Flap ve T-foil Modeli ve Dinamiği

Flap eyleyicinin hızlı katamaran üzerinde oluşturduğu kuvvet ve moment denklemleri aşağıdaki gibidir [5].

$$F_{Flap} = \frac{1}{2} \rho A_{Flap} V^2 C_{LFlap} \delta_{Flap} \quad (5)$$

$$M_{Flap} = F_{Flap} l_{Flap} \quad (6)$$

Denklemlerde F_{Flap} flap kuvvetini, A_{Flap} flap yüzey alanını, ρ akışkanın yoğunluğunu, V gemi hızını, C_{LFlap} kaldırma katsayısını, M_{Flap} flap momentini, δ_{Flap} flapın kanat açısını, l_{Flap} flapın ağırlık merkezine uzaklığını ifade eder.

Kullanılan flapın özellikleri ise Tablo 2’de verilmiştir [6].

Tablo 2. Flap boyutları ve karakteristiği

Kanat açıklığı	4.8	m
Kiriş	1.1	m
Alan	5.5	m ²
Maksimum açı	15	°
Kaldırma katsayısı	9.19*10 ⁻³	KN ⁰ /m ² /knot ²
Maksimum dönme hızı	13.5	°/s
COG’ye uzaklık	38	m

T-foil eyleyicinin hızlı katamaran üzerinde oluşturduğu kuvvet ve moment denklemleri aşağıdaki gibidir [5].

$$F_{Foil} = \frac{1}{2} \rho A_{Foil} V^2 C_{LFoil} \delta_{Foil} \quad (7)$$

$$M_{Foil} = F_{Foil} l_{Foil} \quad (8)$$

Yukarıdaki denklemlerde F_{Foil} T-foil kuvvetini, A_{Foil} T-foil yüzey alanını, ρ akışkanın yoğunluğunu, V gemi hızını, C_{LFoil} kaldırma katsayısını, M_{Foil} T-foil momentini, δ_{Foil} T-foilin kanat açısını, l_{Foil} T-foilin ağırlık merkezine uzaklığını ifade eder.

Kullanılan T-foilin özellikleri ise Tablo 3’de verilmiştir [6].

Tablo 3. T-foil boyutları ve karakteristiği

Kanat açıklığı	3	m
Kiriş	2.25	m
Alan	6.75	m ²
Maksimum açı	±15	°
Kaldırma katsayısı	6.9*10 ⁻³	KN ⁰ /m ² /knot ²
Maksimum dönme hızı	13.5	°/s
COG’ye uzaklık	46	m

C. SKA-PID Denetleyici Tasarımı

Sinüs-kosinüs algoritması optimizasyon problemlerini çözmek için önerilmiş yeni bir popülasyona dayalı algoritma örneğidir. Sinüs ve kosinüs matematiksel fonksiyonları üzerine kurulu olan SKA, en iyi çözümü bulmak için bu fonksiyonları araştırma uzayında iki çözüm arasındaki uzayı keşfetmek ve sömürmek için kullanır. SKA yönteminin özelliği, üstün keşif ve sömürme yeteneğine sahip olmasıdır. SKA, problemin yapısından etkilenmemesi, yerel optimumdan kaçabilmesi ve global optimuma hızlı yakınsaması ile diğer algoritmadan daha üstündür [7].

Sinüs-kosinüs algoritması, trigonometrik dalgaları optimizasyon tekniklerinde araştırma davranışı olarak simüle ederek geliştirilmiştir. Popülasyon temelli bir araştırma tekniğidir ve doğrusal olmayan optimizasyon ve karmaşık problemlerin çözümünde bir optimizasyon aracı olarak kullanılır. Her popülasyonun pozisyonu aşağıdaki denklemler ile güncellenir [8].

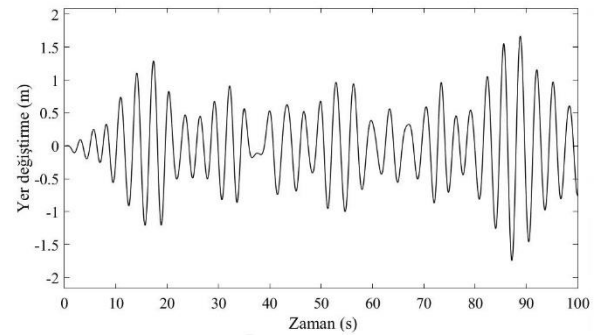
$$P_i^{k+1} = P_i^k + r_1 * \sin(r_2) * |r_3 P_{best} - P_i^k| \quad (9)$$

$$P_i^{k+1} = P_i^k + r_1 * \cos(r_2) * |r_3 P_{best} - P_i^k| \quad (10)$$

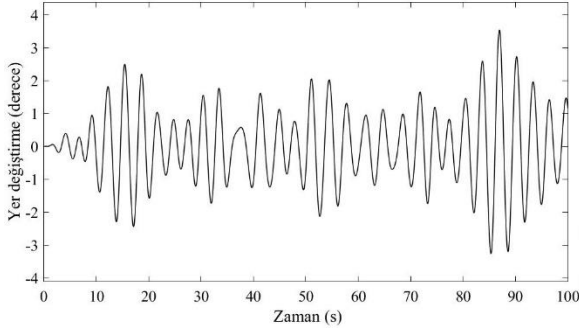
Denklemlerde P_i^{k+1} bir sonraki iterasyonda i ’inci popülasyonun konumu, P_i^k mevcut iterasyondaki i ’inci popülasyonun konumu, r_1, r_2, r_3 rastgele sayılar P_{best} i ’inci boyuttaki hedef noktanın pozisyonudur.

III. SONUÇLAR

Bölüm II’de verildiği şekilde hızlı katamaran ve eyleyicilerin matematiksel modelleri kullanılarak MATLAB/Simulink platformunda benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan SKA tabanlı PID denetleyicinin hızlı katamaranın düşey ivmelenmesini sönümleme performansı benzetim ortamında incelenmiştir. İlk benzetim çalışmasında hızlı katamaranın denetimsiz halde yaptığı Şekil 1 ve 2’de görülen düşey hareketler gözlemlenmiştir.



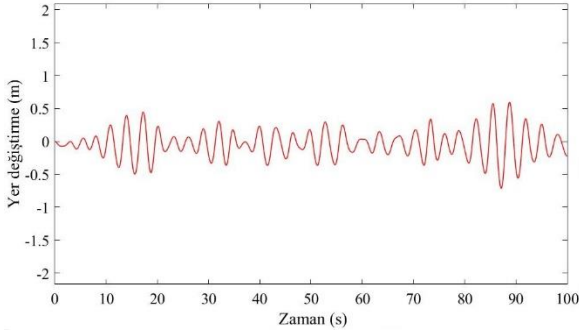
Şekil 1 Denetimsiz katamaranın dalıp çıkma hareketi



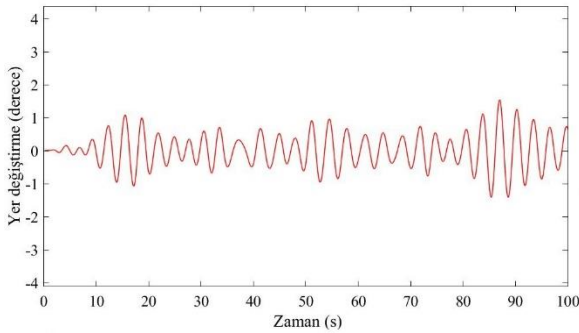
Şekil 2 Denetimsiz katamaranın baş kış vurma hareketi

Yukarıdaki benzetim sonuçlarından görüldüğü üzere baştan gelen dalgalar altındaki hızlı katamaranın dalıp çıkma hareketinden kaynaklanan yer değiştirmesi 1,5 metreyi geçmektedir. Aynı şekilde baş kış vurma hareketinden kaynaklanan yer değiştirmesi ise $3,5^0$ 'ye kadar çıkmaktadır.

İkinci benzetim çalışmasında ise Şekil 3 ve 4'te görüldüğü gibi katamaranın tasarlanan SKA tabanlı PID denetleyici ile elde edilen düşey hareketleri ortaya konmuştur.



Şekil 3 Tasarlanan SKA tabanlı PID denetleyici ile katamaranın dalıp çıkma hareketi



Şekil 4 Tasarlanan SKA tabanlı PID denetleyici ile katamaranın baş kış vurma hareketi

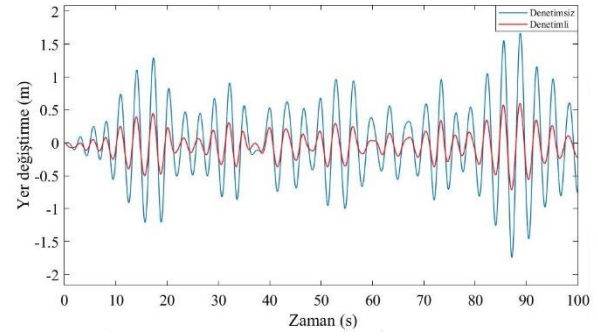
Hızlı katamaranın düşey ivmelenmesini sönmölemek için flap ve T-foil eyleyicilerine ayrı ayrı uygulanan PID denetleyici ile elde edilen cevaplar incelendiğinde dalıp çıkma hareketinin yer değiştirmesi 0,5 metreye, baş kış vurma hareketinin ise $1,5^0$ 'ye düştüğü görülmektedir.

SKA ile elde edilen en iyi PID denetleyici en iyi parametreleri Tablo 4'te verilmiştir.

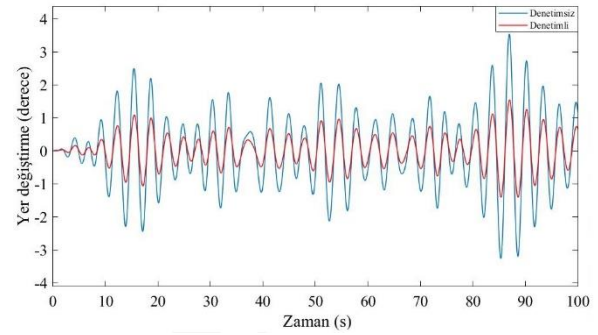
Tablo 4. Denetleyici parametre değerleri

Denetleyici Parametreleri		
K_P	K_I	K_D
25.73	96.36	3.49

Denetim uygulaması sonucu eyleyicilerin, baştan gelen dalgalar altındaki hızlı katamaranın dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketlerini sönmöleme miktarı karşılaştırmalı olarak Şekil 5 ve 6'daki gibidir.



Şekil 5 Denetimsiz ve tasarlanan PID denetimli katamaranın dalıp çıkma hareketlerinin karşılaştırılması



Şekil 6 Denetimsiz ve tasarlanan PID denetimli katamaranın baş kış vurma hareketlerinin karşılaştırılması

Bu çalışmada, SKA tabanlı PID denetleyici flap ve T-foil eyleyicilerinin denetimini başarılı bir şekilde gerçekleştirmiştir. Benzetim sonuçları dalıp çıkma hareketinin SKA ile parametreleri ayarlanan PID denetleyici ile %56 oranında, baş kış vurma hareketinin ise %47 oranında sönmölendiğini göstermektedir.

IV. TARTIŞMA

Hızlı katamaran dalgardan kaynaklanan bozucu etkilere maruz kalmaktadır. Katamaranın seyrini ve yolcu, yük, mürettebat güvenliğini olumsuz etkileyen dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketlerini azaltmak için T-foil ve flap etkili bir eyleyicidir. Bu eyleyiciler, düşey ivmelenmeyi azaltmak için katamaranın hareketlerine göre denetlenebilir.

Hızlı bir katamaranın düşey ivmelenmesini azaltmak için denetleyicinin tasarımı ve hesaplamaları gelişmeye açıktır. Eyleyicilerin denetimi için çalışmada sunulan denetleyiciden farklı denetim yöntemleri uygulanabilir.

Farklı hız ve dalga durumlarında hızlı katamaranın düşey ivmelenmesi değişmektedir. Değişen koşullar göz önüne alınarak bir model oluşturup denetleyici tasarımı gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Cruz, J. M., Girson-Sierra, J., Aranda, J. ve Esteban, S., "Improving the Comfort of a Fast Ferry", IEEE Control Systems, 2004.
- [2] Lloyd, A. R., "Seakeeping: Ship Behaviour in Rough Water", United Kingdom, Ellis Horwood Ltd, 1989.

- [3] Ma, Y., Zhu, Q. ve Yang, Z., "Fuzzy control of fast catamaran ride control systems", Proceedings of the 37th Chinese Control Conference, Wuhan, China, 2018.
- [4] Davis M.R., ve Watson N.L., Holloway D.S., "Wave response of an 86m high speed catamaran with active Tfoils and stern tabs", International Journal of Maritime Engineering, 2003.
- [5] Fossen, T. I., "Guidance and Control of Ocean Marine Vehicles", UK, John Wiley & Sons Ltd., 1994.
- [6] Esteban, S., Cruz, J. M., Girson-Sierra, J. M., Andreas, B., Aranda, J. ve Diaz, J. M., "Fast Ferry Vertical Accelerations Reduction with Active Flaps and T-foil", Aalborg, Denmark, IFAC Manoeuvring and Control of Marine Craft, 227-232, 2000.
- [7] Mirjalili S., "SCA: a sine cosine algorithm for solving optimization problems", Knowledge-Based Systems, 96, 120-133, 2016.
- [8] Chandrasekaran, K., "Improved Sine Cosine Algorithm for Solving Dynamic Economic Dispatch Problem" International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249 – 8958, Volume-8 Issue-3, February 2019.