

GEMİLER İÇİN YALPA SÖNÜMLEYİCİ SİSTEMLER

Alper ZİHNİOĞLU* ve Yrd. Doç. Dr. Yalçın ÜNSAN
**İstanbul Teknik Üniversitesi*

ÖZET

Gemiler, buldukları deniz ortamında oluşan ve meteorolojik şartlardan da kaynaklanan; rüzgâr, dalga, akıntı gibi dış kuvvetlere maruz kalarak altı serbestlik derecesinde hareket etmektedir. Dış kuvvetler sebebiyle ortaya çıkan bu hareketler geminin ana görev fonksiyonunu (yük taşımak, savaşmak vb.) yerine getirmesindeki en büyük etken olan personelin konforunu ve görev etkinliğini önemli oranda etkilemektedir. Personelin görev yapma kabiliyetinin azalmaması ve ana görev fonksiyonunun daha etkin olarak yerine getirilmesi amacıyla 20. yüzyılın başlarından itibaren çeşitli donanımlar üretilerek gemilere takılmış ve etkinlikleri incelenmiştir. Bu makalede yalpa önleyici sistemler genel olarak tanıtarak, bu sistemlerde kullanılabilecek kontrol metodlarına örnekler vermek üzere genel bir literatür taraması yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Gemi, yalpa, kontrol, fin, PID.

1. Giriş

Gemi, geçmişi M.Ö. 3000’li yıllarda Antik Mısır’a kadar uzanan, keşfedildiği günden günümüze kadar geçen dönemde ticari ve askeri amaçlarla kullanılan ve yapmış olduğu etkiyle medeniyetlerin gelişimine büyük katkılar sağlamış olan bir araçtır.

Gemilerin, ticari ve askeri amaçlarla etkin olarak kullanılabilmesi sadece tasarım ve inşaa aşamasındaki mükemmeliyetine bağlı değildir, doğa şartları etkin kullanım üzerinde büyük söz sahibidir. Bu etkenler “Duruş Gücü” kavramını ortaya çıkarmaktadır. Duruş Gücü, gemi kararlılığının çevre (rüzgâr, dalga, akıntı vb.) ve kullanım şartlarından (yükleme durumu, sürat, hasar vb.) ne kadar etkilendiğini ifade eden bir terimdir.

Duruş Gücü –kararlılık– kavramı statik ve dinamik olarak ikiye ayrılmaktadır. Statik kararlılık hareketsiz durumdaki bir geminin üzerindeki yük dağılımının değiştirilmesi halinde alacağı son durumu (meyil, trim, batma) incelemektedir. Dinamik kararlılık ise hareket halindeki bir geminin üzerine uygulanan kuvvetlerin (rüzgâr, dalga, doğrultucu momentler vb.) değişimi halinde geminin hareketlerini incelemektedir.

Gemilerin duruş gücünü artırmak amacıyla özellikle sanayi devrimi sayesinde yaşanan gelişmeler ile yalpa sönmleyici sistemler geliştirilerek kullanılmaya başlanmıştır.

Yalpa sönmleyici sistemler genel olarak gemide çalışan personelin çalışma imkânlarını ve yolcu seyahat konforunu artırmak ile yük emniyetini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Askeri kullanım sahasında ise denizde ikmal, malzeme ve personel transferi, helikopter indirme/kaldırma hareketleri ile atış esnasında kaba silah stabilizasyonunu sağlamaktadır.

Gemilerin duruş gücünün kaybolması, geminin çalıştırılmaz hale gelmesine neden olabileceği Monk tarafından ortaya konmuştur [1]. Geminin orta hattından uzakta olan mevkiilerde yalpa sebebiyle oluşan düşey ivmelenmeler personel ve yolcuların deniz tutması ile karşı karşıya kalmasına, kargo hasarına, silah sistemlerinin düşük performansla veya hiç çalışmaz hale gelmesine neden olabilmektedir.

Kuzey Atlantik Anlaşması Örgütü (NATO) askeri kanadı tarafından yapılan araştırmalarda çeşitli performans kıstasları arasında, aşağıda sıralananlar yalpa hareketi sebebiyle etkilenmektedir [2].

- Azami yalpa açısı sebebiyle pervanenin sudan çıkması,
- Düşey ivmeler nedeniyle yatay kuvvetlerde meydana gelen değişiklikler,
- Deniz tutması indisi ve yalpa hareketi sebebiyle görevde meydana gelen aksamalar,

Yukarıda ifade edilmeye çalışıldığı şekilde yalpa önleyici bir sistemin performansı sadece yalpa açısı azalmasıyla değil aynı anda yalpa kaynaklı ivmelerin azalmasıyla da ölçülmelidir.

2. Gemi Yalpa Hareketini Sönümlemek İçin Kullanılan Sistemler

Yalpa hareketinin istenmeyen etkileri, 19. yüzyıl ortalarında gemi tasarımının değişmesiyle beraber ortaya çıkmaya başlamıştır. Sanayi devrimi ile beraber yelkenlerin yerine buhar türbinlerinin geçmesi, savaş gemileri için bordalarda bulunan topların yerine merkez hattında veya merkez hattına yakın konumlardaki taretlerin gelmesi gibi tasarımsal kombinasyonlar stabilitede büyük yalpa hareketlerine neden olan sonuçlara sebep olmuştur [3].

Froude'un eserinde [4], geminin yalpasına dalga yüksekliğinin değil eğiminin etkili olduğu, bu sebeple de kısa boylu dalgaların uzun boylu dalgalara nazaran eğimlerinin fazla olması sebebiyle, gemi doğal yalpa periyodunu kısaltmanın anlamsız olduğu, aksine bu periyodun uzatılması gerektiği vurgulanmıştır [5].

Bu etkiyi sağlayabilmek için ise zaman içerisinde yalpa omurgası (Şekil 1), cayroskop (Şekil 2, 3), aktif yalpa kanatları (Şekil 4), dümen yalpa engelleyici (Şekil 5), yalpa tankları (Şekil 6) gibi sistemler tasarlanmıştır. Bu sistemlerin birbirlerine göre üstünlükleri ve kayıpları Tablo 1'de verilmiştir. Sellars ve Martin (1991) tarafından farklı yalpa önleyici sistemlerin maliyet ve performans açısından kıyaslandığı detaylı bir çalışma yapılmıştır [6].

Tablo 1. Yalpa önleyici sistemlerin karşılaştırılması.

Yalpa Önleyici Sistem	İlk Kurulum Maliyeti	Bakım Maliyetleri	Etkinlik	Notlar
Cayroskop	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Gemi içerisinde fazla yer kaplamaktadır. Günümüzde kullanılmamaktadır.
Yalpa Omurgası	Düşük	Düşük	Orta	Gemi içerisinde yer kaplamamaktadır, kurulum ve bakım maliyeti azdır. Tüm gemi tiplerine uygulanamaz. Etkinliği diğer sistemlere göre daha azdır.
Yalpa Tankı	Orta	Orta	Orta	Gemi içerisinde fazla yer kaplamaktadır. Serbest yüzey etkisi sebebiyle kararlılığı azaltıcı yönde etkisi vardır. Sıfır süratte de kullanılabilir.
Yalpa Kanadı	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük süratlerde etkisi kalmamaktadır. Günümüzdeki en etkin yalpa sönmüleyici sistemdir.
Dümen Yalpa Engelleyici	Orta	Orta	Orta	Düşük süratlerde etkisizdir. Zaten olması gereken bir sistem ikincil bir amaçla kullanıldığından gemi içinde yer kaplamamaktadır. Tasarım aşamasında bu kullanım tarzı düşünülmediği takdirde sistem kapasiteleri yetersiz kalabilir.

2.1 Yalpa omurgası

Gemilerin yalpa hareketini önlemek amacıyla sintine dönümüne yakın dış kaplamaya dikey olarak konulmuş, baş ve kış istikametinde uzayan kanat şeklinde çıkıntılar yalpa omurgasıdır. Pasif olarak çalışırlar ve yalpa hareketinde tekne ile deniz arasındaki sürtünmeyi artırarak yalpa periyodunu uzatırlar.

Yalpa omurgasının boyutlandırılmasında, tekne boyu dikkate alınmalıdır.



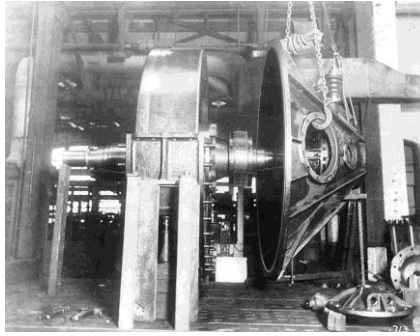
Şekil 1. Yalpa omurgası.

2.2 Cayro yalpa önleyici

Gemilerde yalpayı azaltmak için kullanılan yalpa önleyici sistemlerin teknolojik geçmişi 19. yy.'a dayanmaktadır ve 20. yy. başlarında kullanım alanı kazanmışlardır. Schlick tarafından ilk olarak 1904'te dönen disklerin cayroskopik etkilerinin yalpa sönmülemesi amacıyla kullanımı önerilmiştir [7]. İlk olarak 1907 yılında See-Bar [8] ve 1917 yılında USS Henderson isimli askeri gemilerde cayro yalpa önleyicileri kullanılmıştır [9]. Şekil 2 ve Şekil 3'te bahse konu cayro yalpa önleyiciler sunulmuştur.



Şekil 2. USS Henderson'daki cayro yalpa önleyici rotoru [2].



Şekil 3. USS Henderson'a kurulumu yapılan cayro yalpa önleyici [2].

Cayro yalpa önleyicilerin erken kullanımlarında, rotor ağırlığı, maliyet ve tekne üzerinde meydana getirdiği gerilmeler sebebiyle %95'lere çıkan yalpa sönümlenme oranları gölgede kalmış ve kullanım yeri edinmemişlerdir.

Ancak günümüzde sıfır süratteki yalpa hareketlerini sönümlemek amacıyla yat endüstrisi bu konularda araştırmalara ve uygulamalara başlamıştır [10].

Cayro yalpa önleyicilerin boyutlandırılmasında tekne kütlesi ve hızı dikkate alınmalıdır.

2.3 Fin

Yalpa kanatları, karina üzerine monte edilmiş bir çift hidrofoilden oluşmaktadır. Yalpa kanatları üzerine ilk çalışmalar 1923 yılında Mitsubishi tersanesi çalışanı mühendis S.Motora [8] ve 1932 yılında General Electric firmasında çalışan Dr. E.F.W. Alexenderson tarafından geliştirilmiştir [11]. Bir cayro tarafından kumanda edilen aktif yalpa kanatları ilk olarak 1933 yılında kullanılmıştır [12]. Aktif yalpa kanatlarının kullanımı 2. Dünya savaşından sonra gittikçe artmıştır.

Günümüzde yalpa kanatları sıfır süratte yalpa sönümlemek maksadı ile de kullanılmaktadır.

Yalpa kanatları (Şekil 4), günümüzde hidrolik veya daha küçük uygulamalarda elektrikle tahrik edilmektedirler. Tahrik sisteminin boyut hesabı yapılırken; kanat yüzey alanı, tekne yalpa periyodu, azami tekne hızı gibi veriler dikkate alınmalıdır.



Şekil 4. Yalpa kanadı.

2.4 Dümen yalpa engelleyici

Dümenlerin yalpa engelleyici olarak kullanılması fikri ilk olarak oto pilot kontrolündeki gemilerin yalpa hareketinin gözlenmesi neticesinde ortaya çıkmıştır. 1967 yılında American Rolute isimli yük gemisinin kış aylarındaki Atlantik geçişi sırasında otomatik pilot devredeyken yaşanan aşırı yalpa hareketleri Taggart tarafından incelenmiştir [13].

1967 yılındaki geçişte yapılan gözlemler ve 1968 yaz aylarında toplanan veri ile oluşturulan modelden elde edilen sonuçlarda, gemi üzerinde fazla miktarda sürat olmadığında dahi, pruva istikametindeki yüksek frekanslı gezinmenin, oto pilotun geminin doğal yalpa frekansına yakın frekanslarda dümen kumandasına sebep olduğu ve bu nedenle de geminin yüksek yalpa hareketine maruz kaldığı belirlenmiştir.

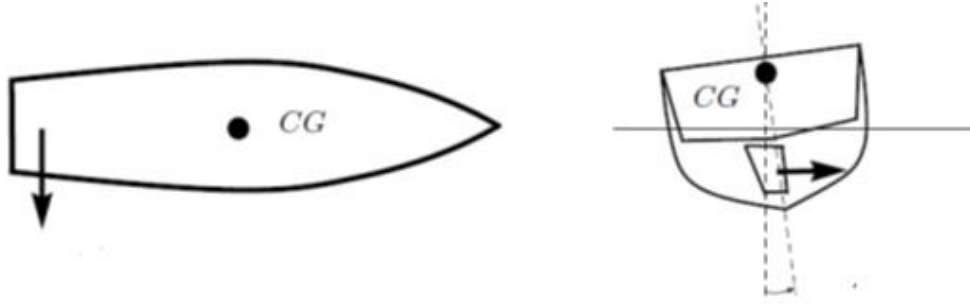
Bu gözlemlerden yararlanarak 1972 yılında van Gunsteren tarafından M.S.Peggy isimli motor yatta tam ölçekli deneyler yapılmıştır [14]. Van Gunsteren'den ayrı olarak, Cowley ve Lambert tarafından, bir yük gemisinin analog bilgisayar kullanılarak hazırlanan model benzetim sonuçları sunulmuştur [15]. Daha sonra tam ölçekli deney sonuçları Cowley ve Lambert tarafından yapılmıştır [16,17].

Ticari gemilerde dümen yalpa engelleyiciler ile yaşanan gelişmeler neticesinde İngiltere'de askeri gemiler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Carley ve Lloyd dümen yalpa engelleyicilerin sadece faydalarını değil, aynı zamanda dümenin yalpa önleyici olarak kullanımından kaynaklanan zorlukları da içeren eserlerini sunmuşlardır [18,19]. Bu çalışmalar dümen yalpa engelleyicilerin performans kısıtlarını içeren ilk çalışmalar olmuştur.

Dümenin, yalpa önleyici olarak kullanımına ilişkin 1970'te başlayan çalışmalar sonucunda, bu yalpa engelleme yönteminden elde edilen verimin düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Sonraları daha gelişmiş kontrol algoritmaları ve dijital bilgisayarlar yardımıyla performansları artırılmıştır. 1980 yılında Baitis tarafından %50 yalpa sönümlenmesine ulaşıldığı bildirilmiştir [20]. Bu çalışmadan sonra 1980 – 1990 arasında Van Der Klught, Kallström, Kalström ve diğerleri, Blanke ve diğerleri ve Van Amerongen ve diğerleri tarafından askeri alanda başarılı çalışmalar yapılmıştır [21-25].

Dümen yalpa engelleyiciler, geminin dönüş hareketi sırasında yüzme merkezi ve ağırlık merkezi arasındaki moment kolu ve merkezkaç kuvvetinden faydalanarak gemi yalpasını sönümlendirmek için kullanılırlar. Uygun bir kontrol sistemi yardımıyla yalpa kanatları ile kombine olarak kullanılabilirler.

Yalpa kanatları tahrik elemanı boyutlandırılması için belirtilen hususlar dümen yalpa engelleyiciler için de dikkate alınmalıdır.



Şekil 5. Dümen yalpa engelleyici.

2.5 Yalpa tankı

1878 yılında HMS Inflexible gemisinin yaralı stabilitesi hakkında çalışma yapan bir komite, hasarlı kompartımanlar arasında serbest su akışının yalpa doğrultucu güce pozitif etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum ancak az sayıda hasarlı kompartıman ve yeteri miktarda su için geçerlidir [3,8].

Bu çalışmaların sonucu olarak HMS Inflexible 1880 yılında kalıcı olarak su tankları ile donatılmıştır Watt [26,27]. Bu çalışma, Froude tarafından yapılan çalışma ile beraber pasif yalpa tankının ilk örneğidir.

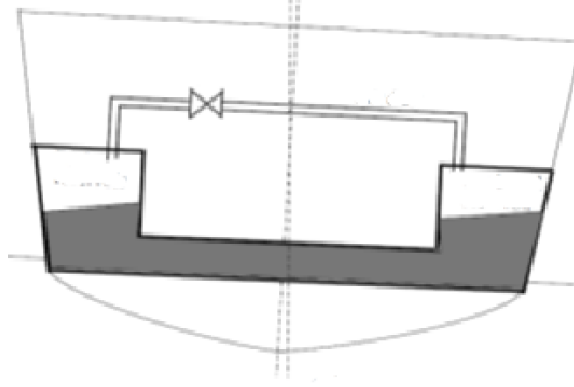
Bu çalışmanın devamında Frahm tarafından 1911 yılında Froude ve Watt'ın pasif tanklarından daha etkili olan Şekil 6'da gösterilen U tankları yapılmıştır [28]. U tankın doğal frekansı ile tekne yalpa doğal frekansının birbirlerine eşit olması alınacak verimi azami düzeye çıkaracaktır. Ancak teknenin yalpa frekansı doğal frekansından uzaklaştıkça, tankların yalpa sönümlenme verimi azalacaktır. Bu durumun önüne aktif kontrol ile geçilebilir.

Aktif yalpa tankları üzerinde çalışmalar 1930 yılında başlamıştır. Minorsky 1934 yılında bir pompa kullanarak tanklardaki akışı değiştirmiştir [29]. Sıvı hızı, yalpa ivmesine göre değişiklik göstermiştir.

1960 ve 1970'li yıllarda bu tankların geliştirilmesi için Vasta ve diğerleri [30], Goodrich [3] tarafından çalışmalar yürütülmüştür. Vasta ve diğerlerinin çalışmasında, 1930 yılı ve sonrasında Amerikan Donanmasında yapılan çalışmalar özetlenmekte ve Stanford Üniversitesi'nde 1950 yıllarda çıkarılan tank matematiksel modelini içermektedir.

Azami verimin alınabilmesi için, tekne üzerinde olabildiğince merkez hattından uzağa yerleştirilen, yalpa yapılan tarafın aksi tarafına sıvı pompalanması veya tanklar arasındaki hava işbirininin bir valf ile kontrol edilmesi suretiyle çalışan bir sistemdir. Çok fazla yer kapladıkları için günümüzde özellikle askeri gemilerde uygulama alanları mevcut değildir.

Tank ve pompa sistemi boyutlandırılırken gemi eni, tonajı, yalpa periyodu ve pompa debisi dikkate alınmalıdır.



Şekil 6. Yalpa tankı.

3. Yalpa Sönümlenmek İçin Aktif Yalpa Kanadı Kullanarak Denetleyici Tasarımı

3.1 Sistem modeli

Yalpa kanadının uygun olarak yerleştirildiği kabulü ile aşağıda sunulan tek serbestlik dereceli denklem kullanılarak yalpa denetleyicisi tasarımı yapılabilir.

$$J\ddot{\Phi} + B\dot{\Phi} + \Delta\overline{GM}_T \sin(\Phi) = T \quad (1)$$

T terimi (denklem 1) yalpa kanatları ve çevresel etkilerden kaynaklanan momentleri (denklem 2) ifade etmektedir.

$$T = T_{rüzgar} + T_{dalga} + T_{Fin} + T_{Pervane} + T_{Dümen} \quad (2)$$

$$T_{fin} = \frac{1}{2} \rho r_f U A_f C_L(\alpha_e) \quad (3)$$

Yalpa kanadı tarafından oluşturulan moment; su yoğunluğuna, tekne hızına, kanat alan merkezi ile tekne ağırlık merkezi arasındaki mesafeye (moment koluna), kanat yüzey alanına ve kaldırma katsayısına (C_L) bağlıdır.

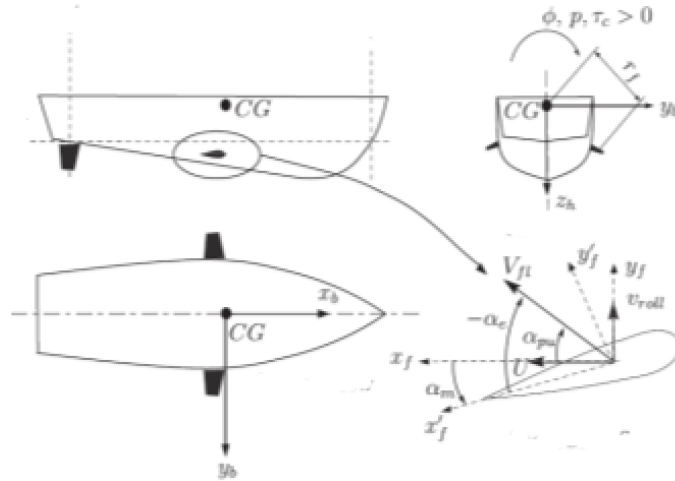
$$\alpha_e = -\alpha_{pu} - \alpha_m - \alpha_w \quad (4)$$

$$\alpha_{pu} = \frac{r_f}{U} p \quad (5)$$

$$p = \dot{\Phi} \quad (6)$$

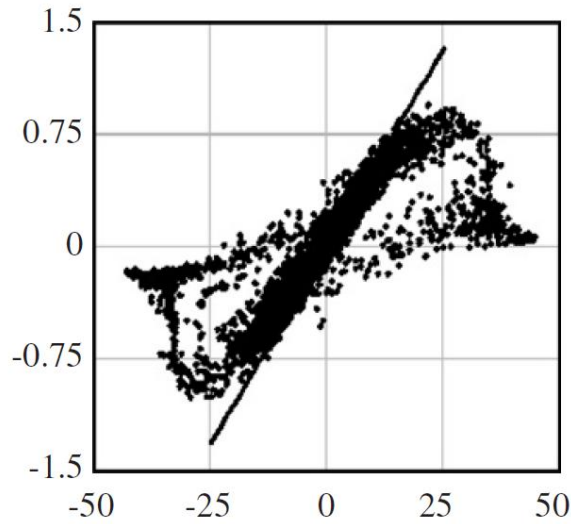
C_L katsayısı doğrusal olmayan bir şekilde kanat hidrodinamik açısı ve kanat profiline göre değişmektedir. Kanat hidrodinamik açısı denklem 4'te verildiği şekilde hesaplanmaktadır. Burada α_w hidrodinamik etkilere bağlı gürültü terimi ihmal edilmiştir.

Yalpa kanadı alan merkezi ile gemi ağırlık merkezi arasında oluşan ve Şekil 7’de yz eksenlerinde gösterilen moment kolu (r_f) değişimi kinematik bağıntılar kullanılarak hesaplanmalıdır.



Şekil 7. Denklem 3 – 6'nın fiziksel gösterimi.

Fin kanatları tarafından oluşturulan kuvvet hesabında bir diğer önemli parametre C_L katsayısıdır. Bu katsayı kanat profili, tekne hızı ve kanat açısına göre doğrusal olmayan bir biçimde değişmektedir. Literatürde NACA serisi gibi standartlaşmış olan profiller için C_L katsayıları bulunabilmektedir. C_L katsayısının kanat hücum açısıyla değişimine ilişkin bir örnek Şekil 8’de sunulmuştur.



Şekil 8. C_L katsayısının hücum açısı ile değişimi.

3.2 Denetleyici tasarımı

Yalpa hareketlerini sönmölemek için literatürde birçok denetleyici tipi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Aktif yalpa kanatlarının ortaya çıkışından günümüze kadar özellikle kontrol alanında yaşanan gelişmeler neticesinde sunulan denetleyici tiplerinin etkinliğinde ilerlemeler kaydedilmiştir.

Yalpa kanatları sadece varlığıyla bile gövdede bir yalpa omurgası etkisi yaratarak teknenin sürtünme katsayısını artırarak yalpa engellemede fayda sağlamakta, gemi sürati arttıkça yalpa sönmöleme performansı iyileşmektedir.

Yalpa kanatlarının elektrikli veya hidrolik tahrik sistemi boyutlandırılırken kanat hareketinin doyuma uğramayacak kadar hızlı olması gerektiği gözden kaçırılmamalıdır.

Yalpa kanadı denetleyicileri, denetleyici içerisinde integratör yerleştirilerek meyili (sabit yalpa açısını) düzeltebilecek şekilde ayarlanabilir.

Denetleyici tasarımına ilişkin sunulan ilk çalışmalarda kontrolörden çok yalpa kanatlarının hidrodinamik özellikleri, alanı ve konumu üzerinde çalışılmıştır [31 – 34].

Sonraları yapılan çalışmalarda ise klasik PID ve H_{∞} tipindeki denetleyicilerin genel olarak iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir [35 – 39].

Crossland tarafından askeri bir gemi üzerinde çalışmalar yapılarak iki PID (klasik ve optimal) ve bir H_{∞} tipindeki denetleyicilerin ayar metotları üzerinde çalışılmıştır [40]. Klasik PID ayar metodunda Lloyd tarafından sunulan ve azami yalpa sönmölemesinin teknenin doğal frekansında olduğu çalışma üzerinden ilerlenmiştir [41]. Optimal PID ayar metodu Katebi ve diğerlerinin prosedürüne göre yapılmıştır [39]. H_{∞} tipindeki optimal kontrol ayar metodu ise Sharif ve diğerlerinin çalışmasına dayandırılmıştır [42].

Yalpa kanatlarını kontrol etmek için geleneksel olarak 6 serbestlik derecesindeki yalpa hareketinin ayrılmış denklemi kullanılmakta, bu sebeple de yalpa ile bağı olan baş gezmesi ve yanlama hareketleri sebebiyle denetleyicinin verimini azaltmaktadır. İlave olarak kanatların kış tarafa yakın olarak konumlandırılması yalpa hareketinin tekne dönme hareketi ile denklemsel ilişkisi sebebiyle kontrol kanununu karışık bir hale getirmektedir.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Bu yazıda, gemi yalpasını önlemek için kullanılan donanımlar ve yalpa kanatları için denetleyici tipleri hakkında bir literatür araştırması yapılarak özet halinde sunulmuştur. Yalpa kontrol algoritmalarının sönmöleme oranlarının yüksek olması için denetleyici katsayılarının değişen çevre şartlarına uyum göstermesi günümüz teknolojisinde artık bir gerekliliktir.

Bahsedilen donanımlar haricinde interseptör veya trim tab adı altındaki bir kısım donanımın esas kullanım amacı olan gemi trimini ayarlamanın yanında uygun denetleyici tipi ve algoritmasıyla beraber gemi yalpa kontrolünü sönmölemek için de kullanılabilceği değerlendirilmektedir.

Son zamanlarda sıfır süratte gemi yalpasını engellemek üzere de çalışmalar yapıldığı ve bu çalışmaların yansımalarının yalpa kanadı ve dönen silindir benzeri donanımlar olarak literatürde bulunduğu görülmüştür. Ayrıca yine sıfır sürat yalpa sönümlemesi için özellikle yat inşa endüstrisinde cayro stabilizatörlere olan ilginin canlandığı müşahede edilmektedir. Bu donanımların kontrol metotlarına ilişkin çalışmaların fazlaca olmaması sebebiyle gelecek yıllarda uygun bir araştırma alanı olabileceği değerlendirilmektedir.

Kaynaklar:

- [1] Monk, K., 1988. A war ship roll criterion. Royal Institute of Naval Architects, 219–240.
- [2] Standardization Agreement: common procedures for seakeeping in the ship design process (STANAG) 3rd ed No.4154. North Atlantic Treaty Organization (NATO), Military Agency for Standardization.
- [3] Goodrich, G., 1969. Development and design of passive roll stabilizer. Trans. of The Royal Institution of Naval Architects, 81–88.
- [4] Froude, W., 1861. On the rolling of ships. Institution of Naval Architects.
- [5] Milgram, Jerome H., 2007. Strip Theory for Underwater Vehicles in water of Finite Depth. Journal of Applied Mathematics, 58, 31-50.
- [6] Sellars, F., Martin, J., 1992. Selection and evaluation of ship roll stabilization systems. Marine Technology, SNAME 29 (2), 84–101.
- [7] Schlick, O., 1904. Gyroscopic effects of flying wheels on board ships. Transactions of The Institution of Naval Architects INA.
- [8] Chalmers, T., 1931. The Automatic Stabilization of Ships. Chapman and Hall, London.
- [9] <http://www.history.navy.mil/our-collections/photography/numerical-list-of-images/nhhc-series/nh-series/NH-53000/NH-53511.html>, Alındığı tarih: 10.04.2016
- [10] Perez, T., Steinmann, P., 2009. Analysis of ship roll gyrostabilizer control. In: 8th IFAC International Conference on Maneuvering and Control of Marine Craft. September, Guarujá, Brazil.
- [11] Fins Proposed For Big Liners to Prevent Rolling, Popular Mechanics. Ağustos 1932. p. 251.
- [12] Fins to Stop Ship's Rolling Governed by Gyro, Popular Mechanics. Nisan 1933. p. 509.
- [13] Taggart, R., 1970. Anomalous behavior of merchant ship steering systems. Marine Technology April, 205–215.
- [14] van Gunsteren, F., 1974. Analysis of roll stabilizer performance. Trans. of The Society of Naval Architects and Marine Engineers 21, 125–146.

- [15] Cowley, W., Lambert, T., 1972. The use of a rudder as a roll stabilizer. 3rd Ship Control System Symposium–SCSS, Bath, UK.
- [16] Cowley, W., 1974. Development of an autopilot to control yaw and roll. 3rd Ship Control System Symposium–SCSS, Bath, UK.
- [17] Cowley, W., Lambert, T., 1975. Sea trials on a roll stabilizer using the ship's rudder. 4th Ship Control System Symposium–SCSS, The Netherlands.
- [18] Carley, J., 1975. Feasibility study of steering and stabilizing by rudder. 4rd Ship Control System Symposium–SCSS, The Netherlands.
- [19] Lloyd, A., 1975. Roll stabilization by rudder. 4th Ship Control System Symposium–SCSS, The Netherlands.
- [20] Baitis, A., 1980. The development and evaluation of a rudder roll stabilization system for the WHEC Hamilton class. Tech. Rep. DDDTNSRDC/SPD-0930-02, DTNSRDC, Bethesda, MD.
- [21] van der Klugt, P., 1987. Rudder roll stabilization. Ph.D. thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.
- [22] Kallstrom, C., 1981. Control of yaw and roll by rudder/fin stabilization system. In: Proc. of 6th International Ship Control System Symposium (SCSS'81).
- [23] Kallstrom, C., Wessel, P., Sjolander, S., 1988. Roll reduction by rudder control. In: Spring Meeting-STAR Symposium, 3rd IMSDC.
- [24] Blanke, M., Haals, P., Andreasen, K. K., 1989. Rudder roll damping experience in Denmark. In: Proc. of IFAC workshop CAMS'89, Lyngby, Denmark.
- [25] van Amerongen, J., van der Klugt, P., van Nauta Lemke, H., 1990. Rudder roll stabilization for ships. *Automatica* 26, 679–690.
- [26] Watt, P., 1883. On a method of reducing the rolling of ships at sea. *Trans. of the Institution of Naval Architects* 24.
- [27] Watt, P., 1885. The use of water chambers for reducing the rolling of ships at sea. *Trans. of the Institution of Naval Architects* 26.
- [28] Frahm, H., 1911. Results of trials of anti-rolling tanks at sea. *Trans. of the Institution of Naval Architects* 53.
- [29] Minorsky, N., 1935. Problems of anti-rolling stabilization of ships by the activated tank method. *American Society of Naval Engineers* 47.

- [30] Vasta, J., Giddings, A., Taplin, A., Stilwell, J., 1961. Roll stabilization by means of passive tanks. Transactions of The Society of Naval Architects and Marine Engineers SNAME 69, 411–439.
- [31] Allan, J., 1945. Stabilization of ships by activated fins. Transactions of The Royal Institution of Naval Architects RINA 87, 123–159.
- [32] Conolly, J., 1969. Rolling and its stabilization by fins. Transactions of The Royal Institution of Naval Architects 111.
- [33] Lloyd, A., 1975. Roll stabilizer fins: A design procedure. Trans. of The Royal Institution of Naval Architects.
- [34] Dallinga, R., 1993. Hydro mechanic aspects of the design of fin stabilizers. Transactions of The Royal Institution of Naval Architects.
- [35] Hickey, N., 1999. Control design for fin roll stabilization. Ph.D. thesis, University of Strathclyde, Glasgow, UK.
- [36] Hickey, N., Grimble, M., Johnson, M., Katebi, M., Melville, R., 1997. Robust fin roll stabilization of surface ships. In: Proc. of the 36th Conference on Decision and Control 1997, San Diego, California, USA.
- [37] Hickey, N., Grimble, M., Johnson, M., Katebi, M., Wood, D., 1995. H1 fin roll control system design. In: Proc. of IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems, Trondheim, Norway.
- [38] Hickey, N., Johnson, M., Katebi, M., Grimble, M., 1999. PID controller optimization for fin roll stabilisation. In: Proc. Of the International Conference on Control Applications, Hawaii, USA.
- [39] Katebi, M., Hickey, N., Grimble, M., 2000. Evaluation of fin roll stabilizer design. In: 5th IFAC Conference on Maneuvering and Control of Marine Craft MCMC'00. pp. 31–37.
- [40] Crossland, P., 2003. The effect of roll stabilization controllers on warship operational performance. Control Engineering Practice 11, 423–431.
- [41] Lloyd, A., 1989. Seakeeping: Ship Behavior in Rough Weather. Ellis Horwood.
- [42] Sharif, M., Roberts, G., Sutton, R., 1996. Final experimental results of full scale fin/rudder rudder roll stabilization sea trials. Control Engineering Practice 4 (3), 377–384.