

# Turning Circle and Zig-Zag Test Simulation for a Fishing Vessel Form

Ferdi akıcı<sup>\*1</sup>, Emre Kahramanoğlu<sup>1</sup>

fcakici@yildiz.edu.tr, emrek@yildiz.edu.tr

<sup>1</sup> *Naval Architecture and Marine Engineering, Naval Architecture and Marine Engineering, Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey*

## Abstract

In this study, turning circle and zig-zag test simulations for a fishing vessel form were carried out by using existing mathematical model and maneuvering derivatives in the literature. The simulations were performed for calm water conditions, that is, all external inputs such as wave, current, wind, ice loads, propeller etc. were neglected. The solution of the lateral plane motions in time domain were completed by using 4<sup>th</sup> order Runge-Kutta Method in Matlab-Simulink package program.

It is possible to more effectively construct the maneuvering simulation in wavy environment on Matlab-Simulink interface if the external loads in irregular seas are known as a function of time. Simulink block diagrams prepared in the present study will allow a quick transition to such disturbance excitation damping studies in the future.

**Keywords:** Maneuvering, Turning Circle Test, Zig-Zag Test, Matlab-Simulink

# Bir Balıkçı Gemisi Formu için Dönme ve Zig-Zag Testi Simülasyonu

Ferdi Çakıcı<sup>1</sup>, Emre Kahramanoğlu<sup>1</sup>

fcakici@yildiz.edu.tr, emrek@yildiz.edu.tr

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü

## Özet

Bu çalışmada literatürde var olan matematiksel model ve yine literatürde var olan standart PMM deneyi ile elde edilen manevra türevleri kullanılarak, bir balıkçı gemisi formu için dönme ve zig-zag testi simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sakin su şartları kabulü ile yapılmıştır yani geminin kendi geometrisi dışındaki bütün bozucular (dalga, akıntı, rüzgar, buzul yükler, pervane vs.) ihmal edilmiştir. Zaman düzlemindeki çözümler, 4. mertebeden Runge-Kutta yöntemi ile Matlab-Simulink paket programı kullanılarak yapılmıştır.

Karışık deniz durumlarındaki dalga ve rüzgar yükü gibi herhangi harici kuvvet/momentlerin zaman düzlemindeki yanıtı bilindiği takdirde, dalgalı denizdeki manevra simülasyonlarının Matlab-Simulink ara yüzünde daha efektif kurgulanması mümkündür. Mevcut çalışmada hazırlanan Simulink blok diyagramları sayesinde ileride yapılacak bu gibi bozucu bastırma çalışmalarına hızlı bir geçiş yapılabilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Manevra, Dönme Testi, Zig-Zag Testi, Matlab-Simulink

## 1. Giriş

Bir geminin tipi ve görev tanımı ne olursa olsun, o gemiden asgari düzeyde bir manevra kabiliyeti göstermesi beklenmektedir. Özellikle balıkçı gemilerinin zorlu görevleri yerine getirdikleri anlarda güçlü manevra kabiliyetlerine sahip olması, olası kazaları önlemek ve operasyon verimini yüksek tutmak için ayrı bir önem arz etmektedir.

Genel anlamda manevra hareketi geminin üç serbestlik derecesi için düşünülebilir. Gemini yatay düzlem hareketleri olarak da bilinen bu hareketler, ileri öteleme, yanal öteleme ve savrulma hareketlerini barındırır (Sarıöz ve diğerleri, 2008). Bu üç hareketin ortak özelliği, deniz yüzeyi tarafından herhangi bir doğrultma katkısı gelmeyeceğinden, dışarıdan etkiyen bozucularla geminin konumunun değişmesi ve eski konumuna dönmesi için doğrudan bir kontrol yüzeyine ihtiyaç duymalarıdır. Geminin yatay hareketlerini ifade eden matematiksel model incelendiğinde, denklemde yer alan doğrusal/doğrusal olmayan hız ve ivme manevra türevlerinin elde edilmesi zaruridir. Bu katsayıları veya bir başka adı ile manevra türevlerini elde etmenin farklı yolları vardır. Bunlar:

1-) Manevra deneyi ile (PMM yaw, PMM sway, rotating arm, statik drift test)

2-) Çoklu regresyon analizi ile (Benzer gemilerin deney sonuçlarından yararlanarak)

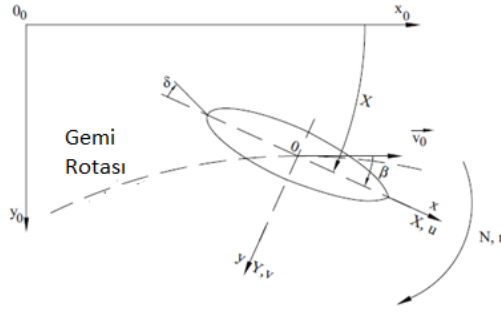
3-) HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) ile (Genelde sonlu hacimler yöntemi kullanılarak) (Bakker, 2006)

PMM (Düzlemsel Hareket Mekanizması) savrulma ve PMM yanal öteleme testleri yapılarak hız ve ivme türevleri aynı anda elde edilebilirken, dönen kol (rotating arm) mekanizması ile sadece savrulma hareketlerine ait hız manevra türevleri bulunabilir. Bu tip deneyler için özel ayarlanmış tesis ve ekipmanların bulunması gerekir. Statik sürüklenme, (Statik drift) testi için ise sadece yanal öteleme hareketi için hız manevra türevleri ve dümen türevleri hesaplanabilir. Bu test için, çekme deney tankı dışında ayrı bir tesise ihtiyaç yoktur (Sen, 2011). Manevra deneyleri genel anlamda çok zaman almaları ve pahalı olmaları gerekçesiyle, genellikle kavram dizayn aşamasında tercih edilmez. Bunun yerine, bu manevra türevlerinin elde edilebilmesi için çoklu regresyon analizleri kullanılır. Bu yöntem oldukça ucuz olmakla birlikte, matematiksel yöntemde yer alan katsayıları bu yöntem ile elde ederken kullanıcı çok dikkatli olmalıdır. Çünkü seçilen regresyon katsayılar kümesi, sadece benzer gemi geometrileri için güvenli olabilir. Eğer incelenen gemiye benzer bir geminin manevra testleri mevcut değilse bu yöntem güvenle kullanılamaz. Son yıllarda gelişen bilgisayar teknolojileri sayesinde HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) kullanılarak manevra türevlerinin hesabı da mümkündür. Bu analizlerde ise manevra türevleri elde edilirken, seçilen ayırıklaştırma yöntemleri, türbülans modeli, hesaplama hacminin ağ yapısı, sayısı ve özellikleri kullanıcı tarafından çok dikkatli bir şekilde belirlenmelidir. Günümüzde HAD hesaplamaları ile manevra türevlerinin elde edilmesi konusunda yoğun bir çalışma sürmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Matlab-Simulink kullanılarak gemi yanal hareketlerinin modellenmesi ve sisteme dalga, akıntı, rüzgâr gibi dış etkenlerin de dâhil edilmesi ile tekrar kurgulanabilecek bir platform oluşturmaktır. Matematiksel modelde kullanılan manevra türevleri Nabergoj vd. (2005) tarafından yapılan manevra deneyleri neticesinde elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan boyutsuz katsayılar ilgili referanstaki metota göre boyutlu hale getirilerek denklemlere yerleştirilmiştir (ABS, 2006). Çalışmanın ikinci kısmında kullanılan matematiksel model verilmiştir. Üçüncü kısım sayısal simülasyon çıktılarını içermekte iken dördüncü kısımda sonuçlar verilmiştir.

## 2. Matematiksel model

Bu çalışmada, Matlab-Simulink ortamında doğrusal olmayan matematiksel model kullanılarak bir geminin yatay düzlemdeki hareketleri incelenmiştir. Örnek olarak kullanılan balıkçı gemisinin manevra türevleri, manevra deneyi ile elde edilmiştir. Bir geminin 3 serbestlik dereceli hareketinde (İleri Öteleme, Yanal Öteleme ve Savrulma) kullanılacak adi diferansiyel denklem aşağıda verilmiştir (Abkowitz, 1964).



Şekil 1. Koordinat Sistemi (Obreja, 2010)

$$(m - X_{\ddot{u}})\ddot{u} = X(0) + X_u u - X_u U + g_1(u, v, r, \delta) \quad (1)$$

$$(m - Y_{\ddot{v}})\ddot{v} + (mX_G - Y_{\dot{r}})\dot{r} = Y(0) + Y_\delta \delta + Y_v v + (Y_r - mU)r + g_2(u, v, r, \delta) \quad (2)$$

$$(mX_G - N_{\dot{v}})\dot{v} + (I_{ZZ} - N_{\dot{r}})\dot{r} = N(0) + N_\delta \delta + N_v v + (N_r - mX_G U)r + g_3(u, v, r, \delta) \quad (3)$$

(1) numaralı denklem 'ileri öteleme' doğrusal hareketini, (2) numaralı denklem 'yanal öteleme' doğrusal hareketini, (3) numaralı denklem ise 'savrulma' rotasyonel hareketini ifade eden denklemlerdir. Burada  $g_1$ ,  $g_2$  ve  $g_3$  matematiksel modelde yer alan doğrusal olmayan terimleri ifade etmektedir. Bu denklemlerde:

$m$ : Geminin kütlesini,

$U$ : Geminin başlangıçtaki x yönündeki hızını,

$X_{\ddot{u}}$ : İleri öteleme ivmelenmesinin x yönünde indüklediği kuvveti ifade eden manevra türevini,

$X_u$ : İleri öteleme hızının x yönünde indüklediği kuvveti ifade eden manevra türevini,

$\ddot{u}$ : İleri öteleme ivmelenmesini,

$u$ : İleri öteleme hızını,

$X(0)$ : Gemiye etkiyen dış bozucuların (Dalga, rüzgar, pervane, akıntı, buz yükleri vs. ) x yönünde oluşturduğu kuvveti,

$Y_{\ddot{v}}$ : Yanal öteleme ivmelenmesinin y yönünde indüklediği kuvveti ifade eden manevra türevini,

$Y_v$ : Yanal öteleme hızının yanal öteleme yönünde indüklediği kuvveti ifade eden manevra türevini,

$\ddot{v}$ : Yanal öteleme ivmelenmesini,

$v$ : Yanal öteleme hızını,

$X_G$ : Gemi ağırlık merkezinin gemi koordinat sistemi başlangıç noktasına uzaklığını, (Eğer orijin ağırlık merkezi ile aynı yerdeyse;  $X_G = 0$ .)

- $Y_{\dot{r}}$ : Savrulma ivmelenmesinin yanal öteleme yönünde indüklediği kuvveti ifade eden manevra türevini,
- $Y_r$ : Savrulma hızının yanal öteleme yönünde indüklediği kuvveti ifade eden manevra türevini,
- $\dot{r}$ : Savrulma ivmelenmesini,
- $r$ : Savrulma hızını,
- $Y(0)$ : Gemiye etkiyen dış bozucuların (Dalga, rüzgâr, pervane, akıntı, buz yükleri vs. ) y yönünde oluşturduğu kuvveti,
- $Y_{\delta}$ : Gemi dümeninin y yönünde indüklediği kuvveti ifade eden manevra türevini,
- $\delta$ : Dümen açısını,
- $N_{\dot{v}}$ : Yanal öteleme ivmelenmesinin z eksenini etrafında oluşturduğu momenti ifade eden manevra türevini,
- $N_v$ : Yanal öteleme hızının z eksenini etrafında oluşturduğu momenti ifade eden manevra türevini,
- $N_{\dot{r}}$ : Savrulma ivmelenmesinin z eksenini etrafında oluşturduğu momenti ifade eden manevra türevini,
- $N_r$ : Savrulma hızının z eksenini etrafında oluşturduğu momenti ifade eden manevra türevini,
- $N(0)$ : Gemiye etkiyen dış bozucuların (Dalga, rüzgâr, pervane, akıntı, buz yükleri vs. ) z eksenini etrafında oluşturduğu kuvveti,
- $I_{zz}$ : Geminin savrulma eksenine göre atalet momentini,
- $N_{\delta}$ : Gemi dümeninin z eksenini etrafında indüklediği momenti ifade eden manevra türevini,

ifade eder.  $g_1$ ,  $g_2$  ve  $g_3$  terimleri ise sistemde doğrusal olmayan terimleri barındıran fonksiyonlar olarak ifade edilir. Bu doğrusal olmayan terimler Eşitlik (4), (5) ve (6)'da verilen üçüncü dereceden manevra denklemi bileşenlerini içermektedir (Obreja, 2010).

$$g_1(u, v, r, \delta) = \frac{1}{6}X_{uuu}u^3 + \frac{1}{2}(X_{uu}u^2 + X_{vv}v^2 + X_{\delta\delta}\delta^2 + X_{v\delta}v\delta) \quad (4)$$

$$g_2(u, v, r, \delta) = \frac{1}{6}(Y_{vvv}v^3 + Y_{\delta\delta\delta}\delta^3) + \frac{1}{2}(Y_{vvr}v^2r + Y_{vv\delta}v^2\delta + Y_{\delta\delta v}\delta^2v) \quad (5)$$

$$g_3(u, v, r, \delta) = \frac{1}{6}(N_{vvv}v^3 + N_{\delta\delta\delta}\delta^3) + \frac{1}{2}(N_{vvr}v^2r + N_{vv\delta}v^2\delta + N_{\delta\delta v}\delta^2v) \quad (6)$$

Bu denklem setinin zaman düzleminde çözülebilmesi için denklem setinde yer alan bütün katsayıların bilinmesi gerekir. Tablo 1'de mevcut balıkçı gemisi için manevra deneyleri yapılarak elde edilen manevra türevleri ve diğer tekne parametreleri verilmiştir.

**Tablo 1.** Model testlerine dayalı elde edilen manevra türevleri

M	175.275	$Y_r$	229.2365
$k_{zz}$	0.575	$Y_{vvr}$	582.8712
$I_{zz}$	57.9503	$Y_\delta$	77.0270
$X_u$	-12.9673	$Y_{\delta\delta\delta}$	-13.7359
$X_{uu}$	-10.0431	$Y_{vv\delta}$	337.2247
$X_{uuu}$	-1.4905	$Y(0)$	0
$X_{\dot{u}}$	-236.4279	$N_{\dot{v}}$	459.7452
$X_{vv}$	-17.4869	$N_{\dot{r}}$	-326.8503
$X_{\delta\delta}$	-22.8726	$N_v$	-334.8046
$X_{v\delta}$	15.4334	$N_{vvv}$	23.3390
$X_\delta$	0	$N_{\delta\delta v}$	-49.1679
$X(0)$	0	$N_r$	-7.9284
$Y_{\dot{v}}$	-310.9077	$N_{vvr}$	-1063.8019
$Y_{\dot{r}}$	-141.4693	$N_\delta$	-93.4078
$Y_v$	-310.9552	$N_{\delta\delta\delta}$	11.3232
$Y_{vvv}$	-204.8530	$N_{vv\delta}$	-322.6631
$Y_{\delta\delta v}$	42.5668	$N(0)$	0

**Tablo 2.** Balıkçı gemisi modeli karakteristikleri

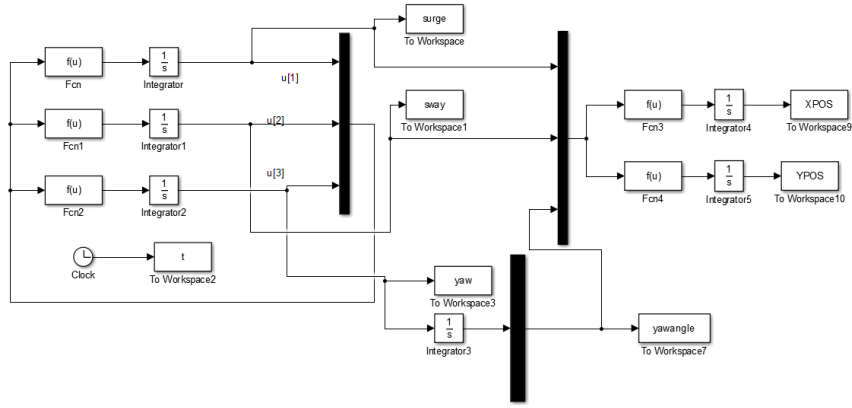
LOA	2.725	m
$L_{BP}$	2.083	m
B	0.667	m
$T_{ORT.}$	0.215	m
$C_B$	0.574	-
$\Delta$	0.175	t
$GM_T$	0.054	m
U	1.8	m/s

Denklem (1), (2) ve (3) içinde yer alan  $X(0)$ ,  $Y(0)$ ,  $N(0)$  kuvvet/momentleri anlık, zamana bağlı dalga, akıntı, rüzgâr, buzul yükleri ve bu kuvvet/momentleri bastırarak iticilerin kuvvet/momentleri ifade etmektedir. Bu çalışmada, geminin kendi oluşturacağı hidrodinamik yük dışında, dışarıdan herhangi bir bozucu kuvvet veya momentinin etki etmeyeceği varsayılmıştır. Bir başka deyişle, simülasyon su ortamında gerçekleştirilmiştir. Dümen yüzeyi dışında bir kontrol yüzeyinin olmadığı kabulü ile de  $X(0)$ ,  $Y(0)$ ,  $N(0)$  terimleri sıfır alınmıştır. Bu terimlerin zamana bağlı ayrık ifadesi bilindiği takdirde, denklemde yer alan diğer katsayıların da güncellenmesi ile simülasyona dâhil edilebilir.

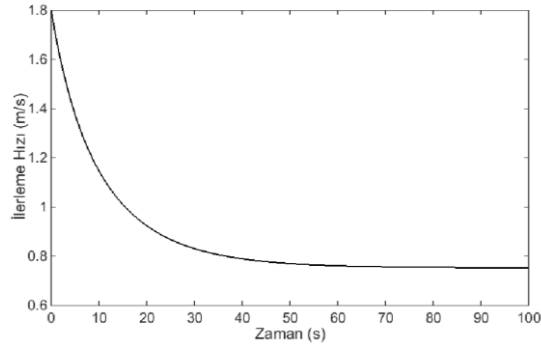
### 3. Sayısal simülasyon

Zaman düzleminde elde edilen çözümler, 4. mertebeden Runge-Kutta adi diferansiyel çözücüsü ile zaman adımının 0.01 alınması Matlab-Simulink paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyon 100 saniye sürmüştür. En bilinen manevra testlerinden biri olan dönme ve zig-zag testi simülasyonu, dönüş anındaki yalpa hareketi ihmal edilerek gerçekleştirilmiştir. Dönme testi için dümen açısı  $35^\circ$  alınmış ve bu senaryodaki blok diyagramı Matlab-Simulink ortamında oluşturulmuş ve Şekil 2'de gösterilmiştir. Dönme esnasındaki ileri öteleme hızındaki değişim Şekil 3'te, yanal

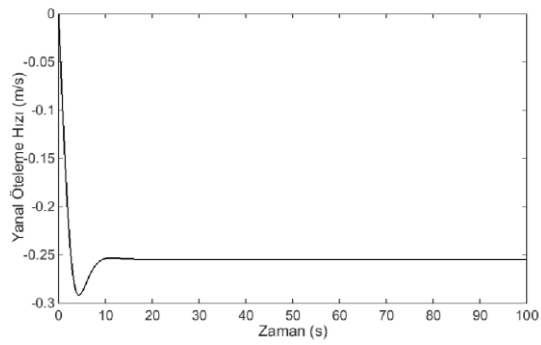
öteleme hızındaki değişim Şekil 4'te, savrulma hızındaki değişim ise Şekil 5'te gösterilmiştir. Ayrıca, dönme testi sonucunda ilerleme, transfer, taktik çap, sürekli dönme dairesi çapı, sürekli dönme hareketindeki hız kaybı gibi karakteristikler Tablo 3'te verilmiştir. Bahsedilen manevra karakteristikleri ile ilgili detaylı bilgi ilgili referansta bulunabilir (Sarıöz ve diğerleri, 2008).



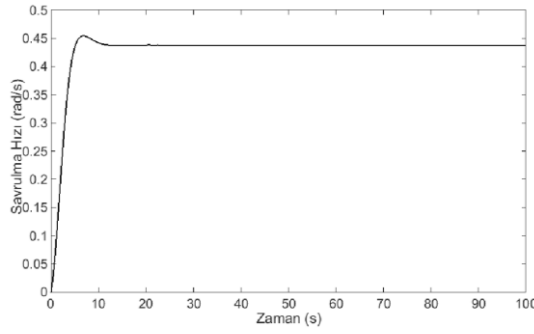
Şekil 2. Dönme testi için kullanılan blok diyagramı



Şekil 3. Dönme testi esnasında ilerleme hızı değişimi



Şekil 4. Dönme testi esnasında yanal öteleme hızı değişimi



Şekil 5. Dönme testi esnasında savrulma hızı değişimi

Tablo 3. 1.8 m/s hız, 35° dümen açısında dönme manevrası değerleri

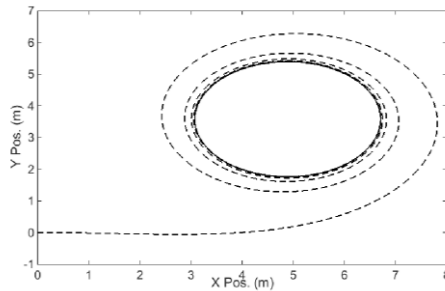
	Mevcut çalışma	Obreja (2010)
Gemi Hızı (m/s)	1.8 m/s	1.8 m/s
Dümen Açısı	35 derece	35 derece
90 Derece Dönme İçin Gerekli Süre (s)	5.83	-
180 Derece Dönme İçin Gerekli Süre (s)	9.31	-
360 Derece Dönme İçin Gerekli Süre (s)	16.46	-
İlerleme (m)	7.771	7.166
Transfer (m)	2.845	2.895
Taktik Çap (TD) (m)	6.227	6.332
Sürekli Dönmede Hız Kaybı (%)	58.12	59.00

Şekil 6'da geminin dönme dairesi verilmiştir. Geminin x ve y yönlerinde aldığı yolu ifade eden bu grafik, geminin lokal koordinat sisteminde hesaplanan yer değiştirmeleri, global koordinat sistemindeki yer değiştirmelerine transfer eden (7)-(8) eşitlikleri kullanılarak çizdirilmiştir.

$$x_0(t + \Delta t) = x_0(t) + [u(t)\cos\varphi(t) - v(t)\sin\varphi(t)]\Delta t \quad (7)$$

$$y_0(t + \Delta t) = y_0(t) + [u(t)\sin\varphi(t) + v(t)\cos\varphi(t)]\Delta t \quad (8)$$

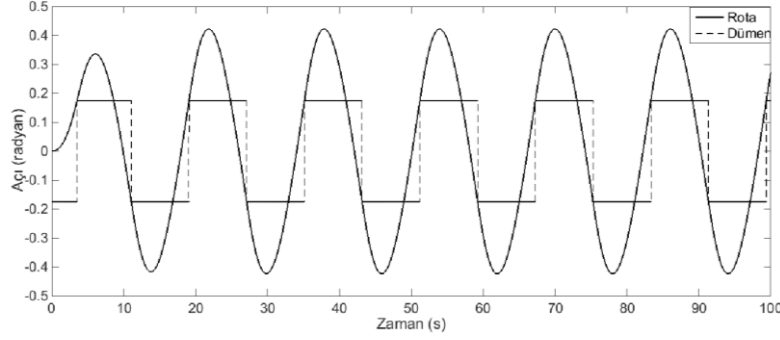
Bu denklemde  $x_0$  ve  $y_0$  geminin global koordinat sisteminde zamana bağlı x ve y yönünde aldığı yolu ifade etmektedir.  $\varphi$  ise geminin zamana bağlı rotasını veya dönme açısını ifade eder ve savrulma hızının integre edilmesi ile hesaplanır Son olarak  $\Delta t$  zaman aralığını ifade eder ve sabit 0.01 alınmıştır.



Şekil 6. Dönme Testi



Zig-Zag testi için ise, en çok kullanılan  $10^{\circ}/10^{\circ}$  manevra tecrübesi simülasyonu yapılmıştır. Zig-Zag tecrübesi sonunda elde edilen zamana bağlı dümen açısı ve gemi dönme açısı (rota) Şekil 7 ile gösterilmiştir. Ayrıca, başlangıç dönme süresi, ilk aşırı dönme açısı, ilk toplam dönme açısı, yarı periyot, dönme kontrol süresi ve tecrübe periyodu gibi karakteristikler Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 7. Zig-Zag Testi

Tablo 4. 1.8 m/s hız,  $10^{\circ}/10^{\circ}$  manevra testi değerleri

	Mevcut çalışma	Obreja (2010)
Gemi Hızı (m/s)	1.8	1.8
Dümen Açısı (derece)	10	10
Başlangıç Dönme Süresi (s)	3.5	-
İlk Aşırı Dönme Açısı (derece)	9.26	11.3
İlk Toplam Dönme Açısı (derece)	19.26	21.3
Yarı Periyot	9.9	-
Dönme Kontrol Süresi (s)	2.55	-
Tecrübe Periyodu (s)	17.99	-

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada literatürde var olan matematiksel model ve yapılan manevra deneyleri ile elde edilen manevra türevlerin kullanılması ile tipik bir Akdeniz balıkçı gemisi modeli için dönme ve zig-zag testi simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sakin su şartları kabulü ile yapılmıştır. Kontrol yüzeyi olarak sadece dümen kullanılırken, dışarıdan etkiyen tüm bozucular ihmal edilmiştir. Matlab-Simulink paket programı kullanılarak yazılan ve elde edilen çözümler sayesinde bu ihmal edilen yükler, sisteme dahil edilebilir ve simülasyon istenilen senaryoya göre tekrar yapılabilir. İleride yapılacak çalışmalarda, çeşitli bozucuların sisteme etkimesi ile arzu edilen senaryolar bilgisayar ortamında rahatlıkla analiz edilebilir.

#### Teşekkür

Çalışmanın birinci yazarı ASELSAN doktora bursuyla desteklenmiştir.

## Kaynaklar

Abkowitz, M.A. (1964). Lectures on ship hydrodynamics. Steering and Manoeuvrability. Hydro and Aerodynamics, Lyngby, Denmark, Report Hy-5.

American Bureau of Shipping (ABS). (2006). Vessel Maneuverability.

Bakker, A. (2006). Applied Computational Fluid Dynamics, Ders Notları, <http://www.bakker.org/dartmouth06/engs150/05-solv.pdf>

D. Obreja, R. Nabergoj, L. Crudu ve S.P. Popoiu. (2010). Identification of hydrodynamic coefficients for manoeuvring simulation model of a fishing vessel. *Ocean Engineering*, 37, sayfa: 678–687.

Nabergoj, R., Crudu, L. ve Obreja, D. (2005). Prediction of manoeuvring characteristics of fishing vessels based on hydrodynamic derivatives. *Proceedings of the 10th International Symposium on Technics and Technology in Fishing Vessels*, Ancona, Italy.

Sarıöz, K., Kükner, A. ve Alkan, A.D. (2008). *Gemi Mühendisliği El Kitabı*. Bölüm 7, Manevra.

Sen, D. (2011). *Seakeeping and Manoeuvring*, Department of Ocean Engineering & Naval Architecture. Ders Notları.

\* Corresponding author.