

مشروع الحسابات العلمية

كلية الهندسة المعلوماتية



مشروع محاكاة حركة سفينة تجارية
التقرير النهائي



المهندسة المشرفة: سارة السواح

إعداد الطلاب:

– مهران مهيب أبو دقة

– مصطفى عبد الناصر شرف

– براءة علي الأحمد

– عمر رجب زين الدين

– غفران وليد عتمه



2024-8-18

الفهرس

3	الفصل الأول: مقدمة
5	الفصل الثاني: الدراسة الفيزيائية
6	-القوى المؤثرة على السفينة
14	-دراسة الحالة الحركية للسفينة
19	-مناورة السفينة (الحركة المنحنية)
28	-دراسة تأثير الأمواج على السفينة
33	الفصل الثالث:
33	-الدراسة الرياضية
35	الفصل الرابع:
35	-الدراسة الخوارزمية
42	الفصل الخامس:
42	-أبرز الصعوبات وطريقة حلها
42	الفصل السادس:
42	-الدراسة البرمجية
43	الفصل السابع:
43	- تقسيم العمل بين أعضاء المجموعة
44	الفصل الثامن:
44	-النتائج
46	الفصل التاسع:
46	-المراجع

الفصل الأول:

● مقدمة:

◀ **السفينة:** هي وسيلة نقل عامة للإنسان والبضائع فوق الماء، استخدمها الإنسان منذ القدم للتنقل على المسطحات المائية وهي أحد أعمدة التجارة والنقل الحديثة، فهي جسم عائِم في الماء صُمِّمَ بشكل هندسي وبمواصفات خاصة تضمن سلامتها وسلامة الحمولة سواء كانت أشخاص أو بضائع، وتأتي بجميع الأشكال والأحجام تبعاً لنوع البضائع المنقولة.

◀ أنواع السفن التجارية:

هناك عدة أنواع من السفن التجارية وهي تتنوع بناءً على الهدف الرئيسي من استخدامها ونوع بضائعها.

1-سفن الحاويات (Container ships):



هي سفينة بضائع تقوم بتحميل كامل حمولتها داخل حاويات بحجم شاحنة، في تقنية تسمى النقل بالحاويات، إنها وسيلة شائعة لنقل البضائع التجارية متعدد الوسائط وتنقل الآن معظم البضائع البحرية غير السائبة، ويمكن نقل هذه الحاويات عن طريق الشاحنات بعد أن تُفرغ الحمولة في الميناء، وتمتلك بعض سفن الحاويات رافعات خاصة بها على متن السفينة مما يسمح لها بإفراغ حمولتها بشكل ذاتي، تعد سفن الحاويات أكثر أنواع نقل البضائع شيوعاً حالياً.



2-الناقلات (Cargo ships):

تتميز هذه السفن بأنها مصممة على هيئة صهاريج متصلة بمواسير وآلات ضخ، ومقسمة بقواطع طويلة تقلل من تحرك السوائل عند اهتزاز السفينة، تستخدم الناقلات في نقل السوائل النظيفة مثل الشحوم والزيوت بأنواعها، ومجهزة بوسائل تخزين لضمان سيولة الشحنة وعدم تجمدها في الظروف الجوية المختلفة.



3-سفن الدحرجة (RoRo ships):

وهي التي تستخدم لنقل البضائع ذات العجلات كالقطارات والسيارات بمختلف أنواعها، وعادةً يتم تحميلها من مؤخرة السفينة حيث يتم فتح باب خلفي تدخل منه السيارات أو البضائع ذات العجلات، وتكون مؤلفة من طابق أو أكثر، وتم إنشاء هذا النوع من السفن في القرن 19 ميلادي.



4-السفن السياحية (passenger ships):

تستخدم في رحلات السياحة وتقديم وسائل الترفيه والراحة للركاب، يختلف حجمها حسب مناطق تشغيلها والموانئ التي تتردد عليها ومنها ما هو صغير ومنها عابرات المحيطات.



5 -ناقلات الغاز (Gas ships):

مخصصة لنقل الغازات مثل: الغاز النفطي المُسال أو الغاز الطبيعي من مناطق الإنتاج وإلى المناطق الصناعية البعيدة، وذلك بعد تكييفه ووضعها في أسطوانات خاصة.



6- سفن الثلاجات (Refrigerator ships):

مخصصة لنقل البضائع التي تستلزم درجة تبريد معينة خلال الرحلة البحرية مثل: الفواكه، الخضار، اللحوم، الأسماك، مشتقات الألبان، وهذه السفن مزودة بآلات تبريد وعناصر ذات حوائط ممهدة بمواد عازلة، وتختلف درجة التبريد حسب نوع البضائع وتصل إلى أربعين درجة مئوية تحت الصفر.

● بعد أن تعرفنا على السفن التجارية وأنواعها سنخصص دراستنا الفيزيائية حول سفن الحاويات.



الدراسة الفيزيائية

● مقدمة:

سنعرض في هذا التقرير الدراسة الفيزيائية لحركة سفينة شحن تجارية من خلال دراسة القوى المؤثرة عليها (العوامل المؤثرة على الجسم المدروس) بمرور الزمن وبالتالي تحديد الحالة الفيزيائية للسفينة، أي سرعة وموقع السفينة في كل لحظة، مع بيان القوانين والعلاقات التي تؤثر في هذه القوى، ولكن لابد من التعرف على السفينة وأجزائها أولاً.

الأجزاء الرئيسية للسفينة التجارية:

1- هيكل السفينة (Hull): الهيكل هو جزء من السفينة التي تحمل السفينة بأكملها، إنه يمتد من الأمام إلى الخلف وهو المكان الذي نبني فيه كل شيء على السفينة، ويحوي على العارضة التي تعتبر العمود الفقري للسفينة.

2- مقدمة السفينة (Bow): قوس السفينة هو الجزء الأمامي من السفينة، وهو القسم الذي تصطدم فيه الأمواج عند الإبحار.

3- مؤخرة السفينة (Stern): وهذه عكس القوس، المؤخرة هي الجزء الخلفي من السفينة التجارية، وهو المكان الذي يقومون فيه ب تثبيت المروحة والدفعة.

4- المروحة (Propeller): هي جهاز ميكانيكي يدفع السفينة، وهو عبارة عن هيكل يشبه المروحة يدور ويعطي قوة دفع للسفينة.

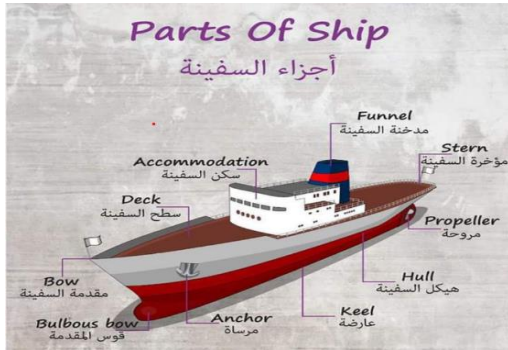
5- سطح السفينة (Deck): هو المكان الذي يحوي البضائع، ويمكن أن يكون أكثر من طابق.

6- المرساة (Anchor): وهو ثقل يلقى في الماء فيمسك السفينة ويمنعها عن الحركة، وغالباً ما تصنع المرساة من المعدن.

7- المدخنة (Funnel): بما أن السفن تحول الوقود إلى قوة دفع، فإنها تنتج أيضاً دخاناً أو غازات من خلال المدخنة.

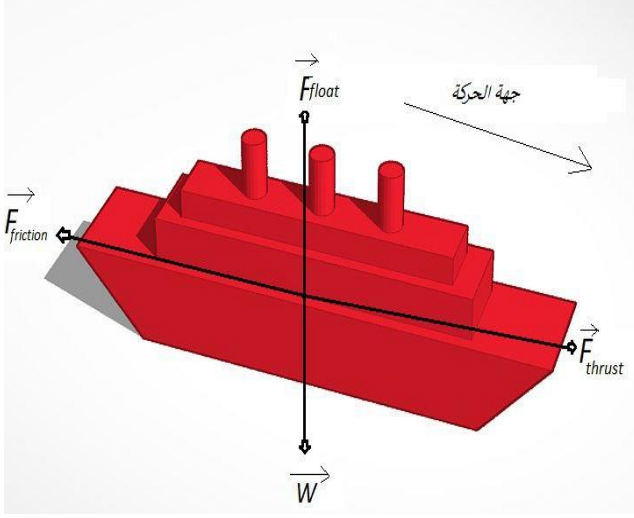
8- الدفة (Rudder): هي عبارة عن مجسم بشكل معين، يتم تركيبها في مؤخرة السفينة على الغالب بحيث يكون مستوي تناظرها منطبق أو موازي لمستوي تناظر السفينة، تكمن الوظيفة الأساسية لها بتوجيه السفينة.

9- المحرك (Engine): المسؤول الرئيسي عن دفع السفينة في الماء، وتختلف طاقته وحجمه حسب نوع السفينة وحمولتها.



والأن سنبين القوى المؤثرة على هذه السفينة والتي تجعلها في حالة حركة:

◀ القوى المؤثرة في السفينة:



1- قوة الثقل أو القوة الجاذبية (\vec{W}).

2- قوة الطفو (دافعة أرخميدس \vec{F}_{float})

3- قوة الدفع (\vec{F}_{thrust}).

4- قوة مقاومة الماء ($\vec{F}_{friction}$).

5- قوة مقاومة الهواء (\vec{F}_{drag}).

6- قوة تأثير الرياح (\vec{F}_{wind}).

سنقوم بشرح تأثير كل قوة على السفينة، وتوضيح القوانين الفيزيائية الخاصة بها من أجل تحديد الحالة الحركية للسفينة.

1- قوة الثقل أو القوة الجاذبية (\vec{W}): هي القوة التي تجذب جميع الأجسام نحو بعضها البعض نتيجة لكتلتها وبما أن كتلة الأرض هي الأكبر فهي تجذب الأجسام إليها أي تتجه نحو الأسفل دوماً، وهذه القوى تتناسب طردياً مع كتلة الجسم.

◀ عناصرها:

- المبدأ: مركز ثقل السفينة.
- الحامل: الشاقول.
- الجهة: نحو الأسفل.
- الشدة: كتلة الجسم * تسارع الجاذبية الأرضية.
- مركباتها: $(0, -m \cdot g, 0) = (x, y, z)$.

ملاحظة: المركبة سالبة لأنها عكس المحور الشاقولي.

قانون الثقل:

$$w=m*g$$

حيث:

w : قوة ثقل الجسم (N).

m : كتلة الجسم (kg).

g : تسارع الجاذبية الأرضية (m/s^2).

ملاحظة: تسارع الجاذبية الأرضي ليس مقدار ثابت وإنما يختلف بحسب بعد الجسم عن مركز الأرض، ولكن في دراستنا سنعتبره ثابت بسبب الاختلاف الضئيل، حيث قيمته ($m/s^2 9.80665$).

◀ تحديد مركز الثقل:

نعلم أن جسم السفينة غير منتظم وأيضاً هي سفينة تحميل بضائع، لذلك لابد من دراسة مركز ثقلها، ويُعرف مركز الثقل بأنه النقطة التي يتزن عندها الجسم، ويمكن حساب مركز ثقل السفينة من خلال المعادلات الآتية:

$$X=(x_1*m_1+x_2*m_2+x_3*m_3+.....+x_N*m_N)/(m_1+m_2+m_3+.....+m_N)$$

$$Y=(y_1*m_1+y_2*m_2+y_3*m_3+.....+y_N*m_N)/(m_1+m_2+m_3+.....+m_N)$$

$$Z=(z_1*m_1+z_2*m_2+z_3*m_3+.....+z_N*m_N)/(m_1+m_2+m_3+.....+m_N)$$

حيث:

(X, Y, Z) هو مركز ثقل السفينة.

$m_1, m_2, m_3, \dots, m_N$: كتلة السفينة + الكتل المضافة لها.

$(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N, y_1, y_2, y_3, \dots, y_N, z_1, z_2, z_3, \dots, z_N)$: بعد الكتل المضافة عن مركز الثقل الأصلي.

2-قوة مقاومة الماء ($\vec{F}_{friction}$): هي قوة تلامس تعيق حركة الاجسام، ناتجة عن لزوجة الماء واحتكاكه مع جسم السفينة المغمور بالماء (دوماً عكس الحركة) ، وهذا يؤثر على سرعة السفينة ويعيق من حركتها، وهذه القوة تكون متغيرة (غير ثابتة).

◀ عناصرها:

- المبدأ: مركز ثقل السفينة.
- الحامل: المحور الأفقي (حامل شعاع الحركة).
- الجهة: عكس الحركة.
- الشدة: $\frac{1}{2} * \text{معامل الاحتكاك} * \text{مساحة مسقط السفينة على مستوي عمودي على القوة} * \text{كثافة السائل} * \text{مربع سرعة الجسم}.$
- مركباتها: $(x, y, z) = (-\frac{1}{2} \cdot C \cdot A_x \cdot p \cdot \|v\| \cdot v_x, -\frac{1}{2} \cdot C \cdot A_y \cdot p \cdot \|v\| \cdot v_y, -\frac{1}{2} \cdot C \cdot A_z \cdot p \cdot \|v\| \cdot v_z)$

قانون مقاومة الماء : $F_{friction} = \frac{1}{2} * C * A * \rho * v^2$

حيث:

C:معامل الاحتكاك(ليس له واحدة).

A:مساحة السطح العمودي على شعاع السرعة (m^2).

ρ :كثافة الماء ($kg \cdot m^{-3}$).

v:سرعة الجسم ($m \cdot s^{-1}$).

ملاحظة: معامل الاحتكاك يختلف من مادة إلى أخرى وقيمته تجريبيه حسب طبيعة المادتان

المتلامستان.

قيمة معامل الاحتكاك: السفن مصنوعة من الفولاذ لذلك تكون قيمة معامل الاحتكاك بين الفولاذ والماء

وباعتبار السفينة مظلية هي (0.14-0.24)، أما إذا لم تكن مظلية فقيمته (0.42-0.73).

3-قوة مقاومة الهواء (\vec{F}_{drag}): هي قوة تببط حركة الاجسام، وهي ناتجة عن حركة الأجسام في

الهواء (دوماً عكس الحركة) ، وتنتج عن احتكاك الهواء مع جسم السفينة الظاهر فوق الماء وهذا يؤثر على سرعة السفينة ويببط من حركتها، وهذه القوة تكون متغيرة (غير ثابتة) ، ولتخفيف هذه القوة بأكبر قدر ممكن نجعل السفينة بشكل انسيابي مما تقلل مساحة السطح المقاوم للهواء فتقل هذه القوة.

◀ عناصرها:

- المبدأ: مركز ثقل السفينة.
- الحامل: المحور الأفقي (حامل شعاع الحركة).
- الجهة: عكس الحركة.
- الشدة: $\frac{1}{2} * \text{معامل الاحتكاك} * \text{مساحة مسقط السفينة على مستوي عمودي على القوة}$
- كثافة السائل * مربع سرعة الجسم.

● مركباتها: $(x, y, z) = (-\frac{1}{2} \cdot C \cdot A_x \cdot p \cdot \|v\| \cdot v_x, -\frac{1}{2} \cdot C \cdot A_y \cdot p \cdot \|v\| \cdot v_y, -\frac{1}{2} \cdot C \cdot A_z \cdot p \cdot \|v\| \cdot v_z)$

$$F_{drag} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

قانون مقاومة الهواء :

حيث:

C:معامل الاحتكاك(ليس له واحدة).

A:مساحة السطح العمودي على شعاع السرعة (m^2).

ρ :كثافة الهواء ($kg \cdot m^{-3}$).

v:سرعة الجسم ($m \cdot s^{-1}$).

4-قوة الطفو (دافعة أرخميدس (\vec{F}_{float})):

قوة الطفو من الظواهر الفيزيائية المهمة التي تؤثر على حركة الأجسام في الماء، وهي قدرة الجسم على الطفو على سطح الماء دون غرق، وتعتمد على عدة عوامل أهمها (الحجم-الكثافة-الشكل)، أما التفسير الفيزيائي لها فهو: عند غمر جسم في الماء فإنه يتعرض لقوى ضغط من جميع الجهات ، تتفانى القوى الأفقية التي تضغط على السطوح الجانبية لأنها متساوية ، أما القوى الشاقولية المؤثرة على السطحين العلوي و السفلي فلا تتفانى لأنها غير متساوية فقوى الضغط تزداد بزيادة العمق و تكون محصلة هاتين القوتين قوة شاقوليه تتجه نحو الأعلى و تدعى بدافعة أرخميدس.

◀ عناصرها:

- المبدأ: مركز ثقل السائل المزاح.
- الحامل: المحور الشاقولي.
- الجهة: نحو الأعلى.
- الشدة: حجم الجسم المغمور بالسائل * كثافة السائل * تسارع الجاذبية الأرضية.
- مركباتها: $(x, y, z) = (0, p. g. V, 0)$

$$F_{float} = \rho \cdot v \cdot g$$

قانون قوة الطفو:

حيث:

ρ : كثافة الماء (kg/m^3) .

v : حجم الجسم المغمور بالماء (m^3) .

g : تسارع الجاذبية الأرضية (m/s^2) .

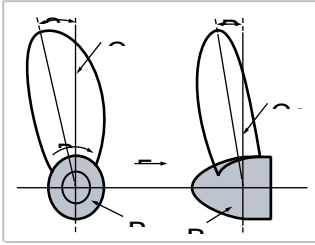
ملاحظة: كثافة الماء ليست ثابتة، تختلف بحسب الكتلة ودرجة الحرارة، يمكن حساب الكثافة من القانون $\rho = m/v$.

حيث:

m : كتلة الماء (kg) .

v : حجم الماء (m^3) .

5-قوة الدفع (F_{thrust}):



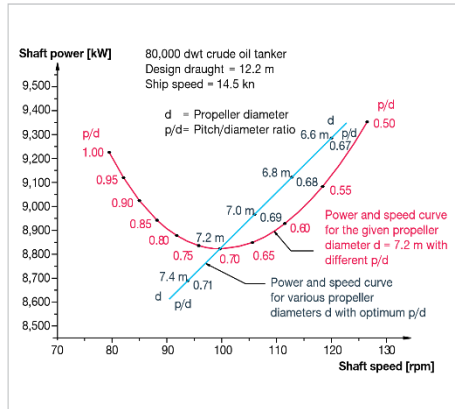
صورة توضح زاوية ميلان الشفرة (pitch)

قوة الدفع في محركات السفن التجارية تعتبر أساسية لتحريك السفينة عبر الماء بشكل فعال وفعالة في استهلاك الوقود، وناتجة عن المحرك (تستخدم محركات ثنائية الشوط أو رباعية الأشواط بالإضافة إلى محركات نووية لدفع السفن بشكل فعال)، الذي يقوم بتدوير المروحة الخلفية مولداً قوة دفع نحو الأمام، تختلف قوة الدفع التي تولدها المروحة باختلاف حجمها وشكلها وزاوية الشفرات وتلعب دور مهم لتعظيم الدفع وتقليل الاهتزازات، وكلما زاد حجم المروحة وعدد شفراتها وعدد دوراتها زادت قوة الدفع، مواد التصنيع أيضاً لها دور مهم لمقاومة التآكل وضمان شكل سليم لها.

عناصرها:

- المبدأ: مركز ثقل السفينة.
- الحامل: محور السفينة الأفقي المار من مركزها ومن مقدمتها ومؤخرتها.
- الجهة: نحو مقدمة السفينة. 17/466
- الشدة: استطاعة المحرك * سرعة المروحة.

- مركباتها: $(x, y, z) = (F_{thrust}, 0, 0)$.



مخطط يوضح العلاقة بين قطر المروحة مع استهلاك الوقود والسرعة

قانون دفع المحرك: $F_{thrust} = \rho \cdot w \cdot d^4 \cdot (\text{pitch})$

حيث:

ρ : كثافة الماء (kg/m^3).

w : السرعة الزاوية لمروحة السفينة (rad.s^{-1}).

d : قطر المروحة (m).

Pitch: زاوية المروحة (inch).

$RPM, W = \frac{2 \cdot (3.14) \cdot RPM}{60}$: عدد دورات المروحة في الدقيقة.

6- قوة تأثير الرياح (\vec{F}_{wind}):

الرياح أيضاً تؤثر على حركة السفينة بحيث أما أن تكون قوة معيقة لحركة السفينة إذا كانت جهة الرياح عكس حركة السفينة، أو أن تكون قوة دفع إذا كانت جهة الرياح مع حركة السفينة (أي أما أن تزيد سرعة السفينة أو تنقصها).

$$F_{drag} = \frac{1}{2} * C * A * \rho * v^2$$

قانون تأثير الرياح :

حيث:

C: معامل الاحتكاك (ليس له واحدة).

A: المساحة التي يؤثر عليها الهواء (m^2).

ρ : كثافة الهواء ($kg.m^{-3}$).

v: سرعة الرياح نسبةً إلى سرعة السفينة ($m.s^{-1}$).

ونميز ثلاث حالات:

◀ جهة الرياح مع جهة السفينة: السرعة الأساسية للسفينة + سرعة الرياح = سرعة السفينة

$$V = V_{wind} + V_{ship}$$

◀ جهة الرياح مع عكس جهة السفينة: سرعة الرياح - السرعة الأساسية للسفينة = سرعة السفينة

$$V = V_{ship} - V_{wind}$$

◀ سرعة الرياح صغيرة (مهملة):

$$V = V_{ship} \quad , \quad V_{wind} = 0$$

حيث:

V: محصلة السرعة ($m.s^{-1}$).

V_{ship} : سرعة السفينة الأساسية، أي قبل تأثير الرياح عليها ($m.s^{-1}$).

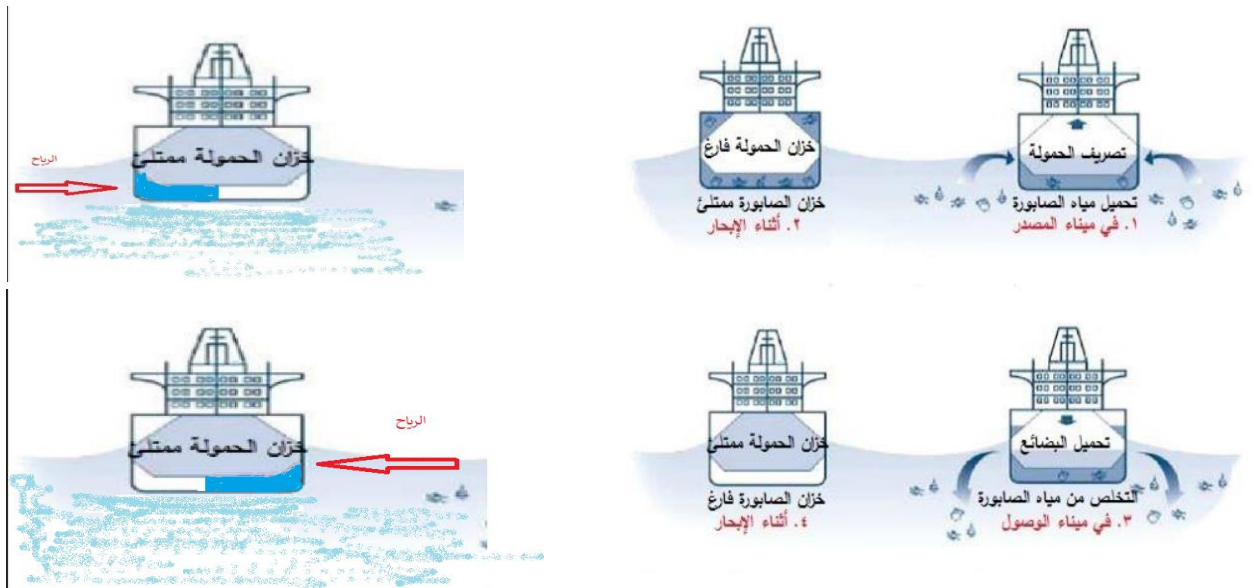
V_{wind} : سرعة الرياح ($m.s^{-1}$).

ولكن كيف تتوازن السفينة في حال واجهت الرياح من الجوانب؟

تحتوي السفن على خزانات تُدعى خزانات الصابورة تعمل هذه الخزانات على موازنة السفينة في حالة الرياح القوية، أو في حال أي خلل في توازن السفينة مثلاً عندما تسير السفينة لمسافات طويلة تقل كمية الوقود في خزانات الوقود، فيتم ملء أحد خزانات الصابورة بالماء لتعويض الوزن المفقود وبالتالي توازن السفينة، أيضاً عندما تكون السفينة فارغة يتم ملء هذه الخزانات لزيادة وزنها وبالتالي تقليل تأثير الرياح عليها، وعند هبوب رياح قوية يتم ملء الخزانات التي من جهة الرياح لمقاومتها، وأيضاً يمكن للسفن تعديل مسارها لتجنب الإبحار مباشرة في اتجاه الريح، مما قد يقلل من تأثير الرياح على السفينة، أيضاً تخفيف السرعة يلعب دور مهم، وبالتالي تفادي مخاطر الانقلاب.

خزانات الصابورة (Ballast tanks): هي خزانات موزعة في الجزء المغمور بالماء من السفينة بشكل هندسي ومدرّس، اعتماداً على نوع السفينة، يمكن أن تكون الخزانات ذات قاع مزدوج (تمتد عبر عرض السفينة)، أو خزانات جناحية (تقع في المنطقة الخارجية من العارضة إلى السطح) أو خزانات (تشغل قسم الزاوية العلوية بين الهيكل والسطح الرئيسي). ترتبط خزانات الصابورة هذه بمضخات تضخ المياه إلى الداخل أو الخارج. يقوم الطاقم بملء هذه الخزانات لإضافة وزن للسفينة وتحسين استقرارها عندما لا تحمل البضائع. في الظروف القاسية، قد يقوم الطاقم بضخ مياه الصابورة إلى أماكن مخصصة للشحن لإضافة وزن إضافي أثناء الطقس الثقيل أو للمرور تحت الجسور المنخفضة.

وهذه صور توضيحية لأحد أشكال خزانات الصابورة وكيف تستخدم:



◀ دراسة الحالات الحركية للسفينة:

1- حالة انعدام التسارع (محصلة القوى معدومة):

تكون فيها محصلة القوى المؤثرة على السفينة مساوية للصفر، وسرعتها:

أ- معدومة (الجسم الساكن سيظل ساكن ما لم تؤثر عليه قوى خارجية).

ب- ثابتة (الجسم المتحرك لا تتغير سرعته طالما لم تؤثر عليه قوة خارجية).

بحيث تحقق قانون نيوتن الأول: الجسم الساكن يبقى ساكناً، والجسم المتحرك يبقى متحركاً ما

لم تؤثر عليه قوى ما، ويمكن التعبير عن القانون رياضياً بالشكل التالي.

$$\Sigma \vec{F} = \vec{0} \leftrightarrow \frac{dv}{dt} = 0$$

سوف نعوض القوى المدروسة سابقاً في قانون نيوتن للتحقق من ثبات السفينة أو ثبات سرعتها:

$$\vec{W} + \vec{F}_{\text{float}} + \vec{F}_{\text{thrust}} + \vec{F}_{\text{wind}} + \vec{F}_{\text{drag}} + \vec{F}_{\text{friction}} = \vec{0}$$

◀ السرعة معدومة:

بالإسقاط على محور شاقولي بجهة قوة الطفو، وإهمال قوة الرياح ومقاومة الهواء، وبما أننا بحالة

سكون فإن: قوة الدفع معدومة (F_{thrust}) ونعوض في القانون:

$$-W + F_{\text{float}} + 0 + 0 + 0 + 0 = 0 \Rightarrow W = F_{\text{float}}$$

◀ السرعة ثابتة:

بالإسقاط على محور أفقي متجه بجهة الحركة وإهمال مقاومة الهواء والرياح، نعوض في القانون:

$$0 + 0 + F_{\text{thrust}} + 0 + 0 - F_{\text{friction}} = 0 \Rightarrow F_{\text{thrust}} = F_{\text{friction}}$$

$$\rho * w * d^4 * (\text{pitch}) = \frac{1}{2} * c * A * \rho * v^2$$

كلاً من (ρ) تعبر عن الكثافة الحجمية للماء و(d) قطر المروحة و($pitch$) زاوية الشفرة هي ثوابت وبما أن قوة الدفع ثابتة فإن (W) سرعة دوران المروحة ثابتة أيضاً، و(A) ثابت يعبر عن مساحة السفينة المغمور بالماء، وأيضاً (c) ثابت معامل الاحتكاك.

نعزل السرعة:

$$v^2 = \frac{2 * \rho * w * d^4 * (pitch)}{c * A * \rho}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 * \rho * w * d^4 * (pitch)}{c * A * \rho}} = \text{const}$$

إذاً نلاحظ أن سرعة السفينة تبقى ثابتة طالما قوة الدفع ثابتة.

2- حالة الحركة الانسحابية:

تكون فيها القوى المؤثرة على السفينة لا تساوي الصفر، أي يوجد قوى تُكسب السفينة تسارعاً، فتصبح محصلة القوى المؤثرة على السفينة غير معدومة وبذلك يتحقق قانون نيوتن الثاني: إذا أثرت قوة على جسم ما فإنها تكسبه تسارعاً، يتناسب طردياً مع قوته وعكسياً مع كتلته، ويُعبر عنه رياضياً بالشكل:

$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

سوف نعوض القوى المدروسة سابقاً في قانون نيوتن الثاني لإيجاد التسارع:

$$\vec{W} + \vec{F}_{\text{float}} + \vec{F}_{\text{thrust}} + \vec{F}_{\text{wind}} + \vec{F}_{\text{drag}} + \vec{F}_{\text{friction}} = m \cdot \vec{a}$$

بالإسقاط على محور أفقي متجه بجهة الحركة، والرياح بجهة الحركة:

$$0 + 0 + F_{\text{thrust}} + F_{\text{wind}} - F_{\text{drag}} - F_{\text{friction}} = m \cdot a$$

$$a = \frac{F_{\text{thrust}} + F_{\text{wind}} - F_{\text{drag}} - F_{\text{friction}}}{m}$$

بالإسقاط على محور أفقي متجه بجهة الحركة، والرياح عكس الحركة:

$$0+0- F_{wind}-F_{drag}-F_{friction}+F_{thrust} =m.a$$

$$a = \frac{F_{thrust}-F_{wind}-F_{drag}-F_{friction}}{m}$$

بالإسقاط على محور أفقي متجه بجهة الحركة، والرياح مهملة (الرياح صغيرة جداً لا تؤثر بشكل فعلي):

$$0+0+ 0-F_{drag}-F_{friction}-F_{thrust} =m.a$$

$$a = \frac{F_{thrust}-F_{drag}-F_{friction}}{m}$$

بعد أن قمنا بإيجاد التسارع يمكننا حساب السرعة الخطية من العلاقة:

$$\vec{v}_t = \vec{a}\Delta t + \vec{v}_{t-1}$$

حيث:

v_t : السرعة الخطية في اللحظة الحالية ($m.s^{-1}$).

a : التسارع الخطي في اللحظة الحالية ($m.s^{-2}$).

Δt : المجال الزمني بين كل لحظة والتي تليها (s).

v_{t-1} : السرعة الخطية في اللحظة السابقة ($m.s^{-1}$).



ويمكننا حساب السرعة أيضاً من القانون التالي:

حيث:

v^2 : السرعة الخطية في اللحظة الحالية ($m.s^{-1}$).

v_0^2 : السرعة الابتدائية ($m.s^{-1}$).

x : الموضع عند نهاية المجال (الإزاحة) (m).

x_0 : الموضع البدائي للسفينة (m).



وبعد أن وجدنا السرعة يمكننا إيجاد الموضع:

$$\vec{x}_t = \vec{v}\Delta t + \vec{x}_{t-1}$$

حيث:

x_t : الفاصلة الخطية في اللحظة الحالية (m).

v : السرعة الخطية في اللحظة الحالية ($m.s^{-1}$).

x_{t-1} : الفاصلة الخطية في اللحظة السابقة (m).

التابع الزمني
للفاصلة

ويمكننا حساب الموضع أيضاً من القانون التالي:

حيث:

\vec{x} : الموضع عند نهاية المجال (الإزاحة) (m).

\vec{a} : التسارع الخطي في اللحظة الحالية ($m.s^{-2}$).

t : الفاصل الزمني بين كل لحظة و التي تليها (s).

\vec{v} : السرعة الخطية في اللحظة الحالية ($m.s^{-1}$).

\vec{x}_0 : الموضع البدائي للسفينة (m).

التابع الزمني للفاصلة
وهو تابع من الدرجة
الثانية بالنسبة للزمن

مناقشة:

سنبين في هذه المناقشة أنواع الحركة الانسحابية التي سوف تسلكها السفينة خلال حركتها.

تكون الحركة مستقيمة منتظمة: إذا كان مسار السفينة مستقيم وقطعت السفينة مسافات

متساوية خلال فواصل زمنية متساوية، أي التسارع معدوم والسرعة ثابتة.

$$a=0, v = \text{Const}$$

تكون الحركة مستقيمة متغيرة بانتظام: إذا كان مسار السفينة مستقيم وقطعت السفينة مسافات غير متساوية خلال فواصل زمنية متساوية، أي التسارع ثابت والسرعة متغيرة.

$$a = \text{Const}, v = \text{changeable}$$

أنواع الحركة المستقيمة المتغيرة بانتظام:

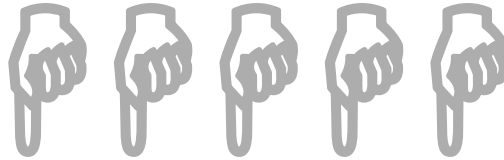
1- حركة مستقيمة متسارعة بانتظام.

2- حركة مستقيمة متباطئة بانتظام.

متى تكون الحركة متسارعة بانتظام ومتى تكون متباطئة بانتظام؟

تكون متسارعة بانتظام: إذا ازدادت القيمة المطلقة للسرعة مع مرور الزمن بتسارع ثابت.

تكون متباطئة بانتظام: إذا تناقصت القيمة المطلقة للسرعة مع مرور الزمن بتسارع ثابت.



◀ مناورة السفينة:

بعد أن تعرفنا على القوى المؤثرة على السفينة والتي تجعل السفينة في حالة حركة يمكننا التعرف كيف يمكن التحكم باتجاه السفينة.

دفة التوجيه (Rudder): هي عبارة عن مجسم بشكل معين غالباً بشكل جناح رافع أو إحدى الأشكال المشتقة منه يتم تركيبها في مؤخرة السفينة على الغالب، بحيث يكون مستوي تناظرها منطبق أو موازي لمستوي تناظر السفينة، وتكمن الوظيفة الأساسية لدفة التوجيه في تأمين المناورة المطلوبة للسفينة أثناء حركتها بالإضافة إلى الاستقرار الاتجاهي ضمن الحدود الدنيا للقوى اللازمة لحرف هذه الدفة، وعند تحريك هذه الدفة في اتجاه معين، يتم حرف حركة السفينة (عندما تتحرك الدفة إلى جانب واحد، يتدفق الماء بقوة أكبر على الجانب الآخر، مما يخلق قوة تدفع السفينة لتتجه نحو الجانب المعاكس لحركة الدفة، هذه العملية تُعرف بالتأثير الهيدروديناميكي).

التفسير الفيزيائي لحرف السفينة باتجاه معين:

تُجزأ حركة السفينة أثناء دورانها إلى ثلاثة مراحل أساسية وذلك ليس فقط استناداً إلى شكل منحني الدوران وإنما أيضاً وفقاً للقوى المؤثرة على السفينة في كل مرحلة من مراحل المناورة.

❖ المرحلة الأولى:

عند حركة دفة التوجيه بزاوية مقدارها تخضع مجموعة السفينة لتأثير القوى التالية:

1- قوة دفع المروحة (F_{thrust}).

2- مقاومة السفينة المعاكسة ($F_{friction}$).

3- قوة الرفع الهيدروديناميكية المؤثرة على الدفة (P).

لتبسيط دراسة هذه الظاهرة سنفترض أن نقطة تأثير قوة

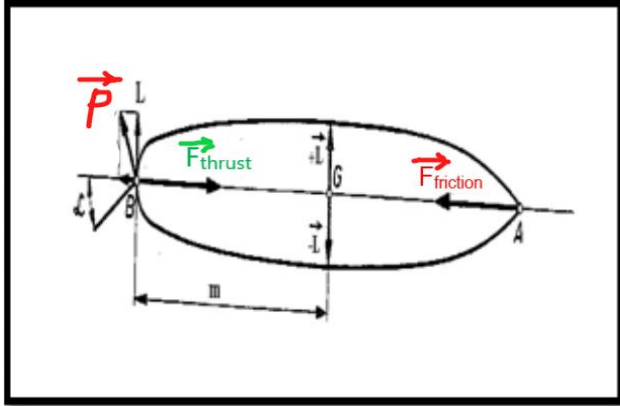
الدفع تقع على محور الدوران عند النقطة B.

تحلل القوة P إلى مركبتين:

الأولى: قوة الرفع (L) التي تتعامد مع مستوي تناظر السفينة وتتجه باتجاه معاكس لانحراف الدفة.

الثانية: قوة الجر أو المقاومة المؤثرة في مستوي تناظر السفينة والمتجهة بعكس اتجاه حركة السفينة.

تتناقص سرعة السفينة خلال هذه المرحلة بفعل تطابق منحى واتجاه قوة مقاومة بدن السفينة مع قوة مقاومة الدفة.



من جهة أخرى تسبب قوة الرفع (L) انحراف مستوي تناظر السفينة عن الاتجاه الأولي للحركة،
ولتوضيح ذلك نطبق عند مركز ثقل السفينة قوتين متوازيتين $(\vec{L}, -(\vec{L}))$ و متعامدتين مع
مستوي تناظر السفينة دون حدوث أي تغير في تأثير القوى المفروضة على السفينة .
في هذه الحالة يتم استبدال تأثير قوة الرفع المطبقة عند B بقوة رفع (L) عند النقطة G و مزدوجة قوى
 $(\vec{L}, -(\vec{L}))$.

تولد مزدوجة القوى عزمًا مقداره $(m \cdot L)$ يعمل على تدوير السفينة حول محور شاقولي مار بصورة
تقريبية من خلال مركز ثقل السفينة، ويعطى عزم المزدوجة بالعلاقة:

$$M = F_{\text{thrust}} \cdot d \cdot \sin(\alpha)$$

قانون عزم المزدوجة:

حيث:

M: عزم المزدوجة (N.m).

F_{thrust} : قوة الدفع (N).

d: المسافة بين مركز ثقل السفينة ومكان تطبيق القوة (m).

α : زاوية دوران الدفة ويتم التحكم بها من قبل الكابتن (rad).

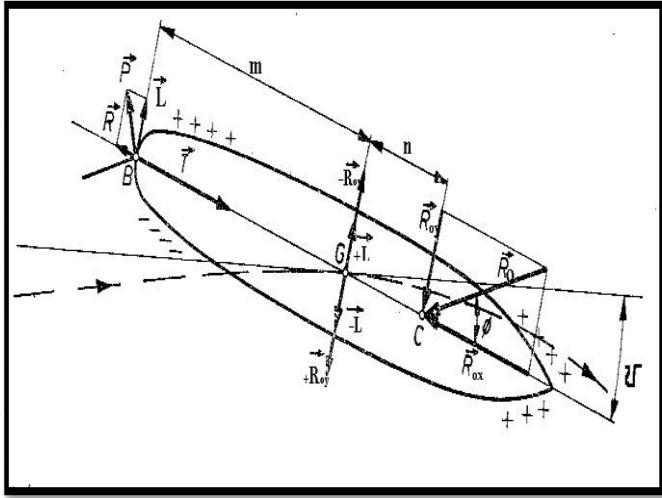
أما القوة (L) المؤثرة عند النقطة G فتعمل على إزاحة السفينة باتجاه معاكس لانحراف الدفة مما يؤدي
إلى نشوء قوة مقاومة جانبية تعاكس هذا الانحراف.

نستنتج مما سبق أن تأثير القوة (L) المطبقة في G والقوة F_{friction} والعزم $(m \cdot L)$ تسبب بصورة
واضحة تناقص سرعة السفينة خلال هذه المرحلة، بالإضافة إلى انحراف منحنى الدوران نحو الخارج
ودوران السفينة.

❖ المرحلة الثانية:

يؤدي دوران السفينة حول المحور الشاقولي المار من خلال مركز ثقل السفينة (G) بفعل تأثير العزم
 $(m \cdot L)$ إلى حدوث تغير في توزيع ضغط الماء حول بدن السفينة ونتيجة للدوران يزداد الضغط على
الجهة الداخلية للسفينة عند المقدمة في حين يتناقص هذا الضغط على الجهة الداخلية للبدن عند المؤخرة.
في الوقت ذاته يزداد ضغط الماء على الجهة الخارجية للبدن من المقدمة حتى المؤخرة بفعل الحركة
المتزامنة للسفينة نحو الأمام والجانب.

نتيجة لاختلاف الضغط على جانبي بدن السفينة تنشأ قوة دفع محصلة منحرفة عن مستوي التناظر بزاوية (ϕ) مؤثرة عند النقطة (C).



تحلل القوة المحصلة R_0 إلى مركبتين:

(R_{ox}) المؤثرة في مستوي التناظر و تدعى المقاومة الأمامية للسفينة .

(R_{oy}) المتعامدة مع مستوي التناظر و تدعى بالمقاومة الجانبية للسفينة .

تتمتع القوة R_{ox} بقيمة أكبر من قيمة قوة المقاومة قبل بدء الدوران أي تتمتع بقيمة أكبر من قيمة R_0 في الشكل السابق.

هذه القوة تضاف إلى قيمة مقاومة الدفة فتسبب تناقص إضافي في سرعة السفينة.

نطبق عند مركز ثقل السفينة قوتين متوازيتين $(+ R_{oy}, - R_{oy})$ متعامدتين مع مستوي تناظر السفينة .

في هذه الحالة يتم استبدال تأثير القوة R_{oy} المطبقة عند C بتأثير القوة R_{oy} المطبقة عند G و مزدوجة قوى $(R_{oy}, -R_{oy})$ تولد عزم مقداره $(n \cdot R_{oy})$ (العزم الناشئ عن البدن) .

تعمل القوة R_{oy} المطبقة عند النقطة G والمعاكسة لتأثير القوة (L) المطبقة عند النقطة G على إزاحة السفينة جانبياً باتجاه مركز انحناء منحنى الدوران.

مع تزايد زاوية الانسياب (θ) تزداد قيمة القوة R_{oy} عند النقطة G بالمقارنة مع قيمة القوة L المطبقة أيضاً عند G والمعاكسة لها، مما يؤدي بالنتيجة إلى حركة السفينة على خط حلزوني.

بالنسبة لمزدوجة القوى $(R_{oy}, -R_{oy})$ فإن عزمها $(n \cdot R_{oy})$ قد يساعد أو يعاكس عملية دوران السفينة حول موقع النقطة C على امتداد مستوي التناظر في اللحظة الزمنية المعتمدة .

عند وقوع النقطة C أمام مركز ثقل السفينة G باتجاه المقدمة عندئذ يتوافق اتجاه العزم $(n \cdot R_{oy})$ مع اتجاه الدوران $(m \cdot L)$ مما يؤدي إلى تسريع دوران السفينة حول محورها الشاقولي.

أما عند وقوع النقطة C خلف مركز ثقل السفينة G باتجاه المؤخرة عندئذ يعاكس العزم $(n \cdot R_{oy})$ دوران السفينة مما يعيق تنفيذ المناورة المطلوبة.

ينبغي الإشارة إلى أن الموضع الدقيق للنقطة C لا يمكن تحديده أثناء عملية تصميم السفينة إلا أن الخبرة العملية تظهر أن هذه النقطة بالنسبة لغالبية السفن تقع بين مقدمة السفينة ومركز الثقل G عند بداية المرحلة الثانية من المناورة.

مع تزايد زاوية الانسياب (9) أثناء حركة السفينة على خط حلزوني، تتحرك النقطة C باتجاه مؤخرة السفينة خلف مركز الثقل وتأخذ موقع ثابت عند بداية المرحلة الثالثة.

ولحساب زاوية دوران السفينة نستخدم العلاقة التالية:

$$\theta = \frac{M - M'}{I}$$

حيث:

M: عزم المزدوجة (N.m).

M': عزم العكس ويمكن حسابه من القانون $[M' = F_{thrust} \cdot d \cdot \sin(\alpha')]$.

I: عزم عطالة السفينة وهو مقدار ثابت يختلف حسب نوع السفينة ،وفي مثالنا النموذج المستخدم يمتلك عزم عطالة $[I = 75000(\text{kg.m}^2)]$.

F_{thrust}: قوة الدفع (N).

d: المسافة بين مركز ثقل السفينة ومكان تطبيق القوة (m).

α' : زاوية دوران العكس (rad).

❖ المرحلة الثالثة:

تبقى قوة دفع الرفاص (F_{thrust}) ثابتة خلال كامل عملية المناورة .

تبدأ المرحلة الثالثة من مراحل المناورة عندما تتوازن المقاومة المحصلة ($R \rightarrow + R_{ox}$) مع قوة الدفع (F_{thrust}) , و عندما يتوازن العزم (n · Roy) مع العزم (m · L) أي عندما يتساويان بالقيمة و يتعاكسان بالاتجاه , و يتحقق ذلك عندما تستقر النقطة C في مكان يقع خلف مركز ثقل السفينة باتجاه المؤخرة .

تستقر اعتباراً من هذه اللحظة زاوية الانسياق وتصبح جميع القوى والعزوم المؤثرة على السفينة في حالة توازن وتبدأ السفينة بالحركة على مسار دائري بسرعة ثابتة.

تغير سرعة السفينة أثناء دورانها:

تتناقص سرعة السفينة كما ذكرنا سابقاً أثناء المرحلة الأولى والثانية من مراحل المناورة نتيجة لزيادة المقاومات الهيدروليكية المتولدة.

يحدد التغير الحاصل في سرعة السفينة أثناء دورانها بعلاقة Schoenherr التقريبية بخطأ نسبي مرتكب قدره $\pm 10\%$:

$$v_c = v \left(1 - \frac{\alpha}{b_w} \cdot \frac{S}{S_{xz}} \right)$$

حساب السرعة:

حيث:

v : سرعة السفينة على مسارها المستقيم قبل بدء المناورة ($m.s^{-1}$).

v_c : سرعة السفينة أثناء الدوران ($rad.s^{-1}$).

α : زاوية انحراف دفة التوجيه (rad).

b_w : معامل يحدد كتابع للنسبة $\left(\frac{V_1}{S_{xz} \cdot L_{kw}} \right)$.

V_1 : حجم الجزء الغاطس من البدن (m^3).

S_{xz} : مساحة سطح المقطع الجانبي للجزء الغاطس (m^2).

S : مساحة السطح الفعال للدفة (m^2).

L_{kw} : الطول عند خط الماء (m).

حيث:

$$V_1 = \frac{\rho_s}{\rho_w} V_2$$

ρ_s : الكثافة الحجمية للماء ($k.m^{-3}$).

ρ_w : الكثافة الحجمية للسفينة ($k.m^{-3}$).

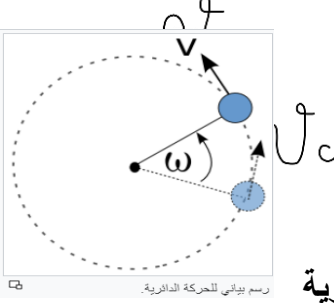
V_2 : حجم السفينة الكلي (m^3).

3-حالة الحركة الدائرية(المنحنية):

حركة يتحرك الجسم فيها بمحاذاة محيط دائرة ثابتة القطر، وتكون الحركة بسرعة ثابتة مقدارًا ومتغيرة اتجاهًا.

أنواع الحركة الدائرية:

الحركة الدائرية المنتظمة:



تحصل هذه الحركة عندما تقطع السفينة أقواس متساوية خلال فواصل زمنية متساوية ويتحقق ذلك إذا كان نصف قطر الدوران ثابت والانطلاق ثابت، ويكون للسفينة تعجيل مركزي فقط.

سنقوم بدراسة الحركة الدائرية المنتظمة:

أوجدنا السرعة الخطية أثناء الدوران للسفينة في فقرة المناورة وهي:

$$v_c = v \left(1 - \frac{\alpha}{bw} \cdot \frac{S}{S_{xz}} \right)$$

نقوم بإيجاد نصف القطر الدوران:

$$r = \frac{(no.of shackles * 27.5) + length overall}{1852}$$

حيث:

r: نصف القطر (m).

length overall: طول السفينة (m).

no.of shackles=6: ثابت أصفاد المرساة.

one shackles=27.5m.

one nautical mile=1852m: ميل بحري واحد.

إيجاد السرعة الزاوية ومن ثم زاوية الدوران ومنها نوجد الفاصلة المنحنية:

$S = \theta * r$ <p>حيث:</p> <p>S: الفاصلة المنحنية (m).</p> <p>θ: زاوية الدوران (rad).</p> <p>r: نصف القطر (m).</p>	$\theta = \frac{\omega}{t}$ <p>حيث:</p> <p>θ: زاوية الدوران (rad).</p> <p>t: الزمن (s).</p> <p>ω: السرعة الزاوية (rad.s⁻¹).</p>	$\omega = \frac{v_c}{r}$ <p>حيث:</p> <p>ω: السرعة الزاوية (rad.s⁻¹).</p> <p>v_c: السرعة الخطية (m.s⁻¹).</p> <p>r: نصف القطر (m).</p>
--	--	---

والآن يمكننا إيجاد تابع الفاصلة الزاوية وتابع الفاصلة المنحنية:

$$\bar{\theta} = \bar{\omega}t + \bar{\theta}_0$$

تابع الفاصلة الزاوي:

$$\bar{s} = \bar{v}t + \bar{s}_0$$

تابع الفاصلة المنحنية:

بعد أن وجدنا السرعة نقوم بإيجاد التسارع:

1- التسارع الزاوي: معدوم لأن $\omega = \text{const}$ أي $\alpha = (\omega)'_t = 0$

2- التسارع الخطي: مركبات التسارع الخطي: $\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_c$

-تسارع مماسي: معدوم لأن $v = \text{const}$ $a_t = (v_c)'_t = 0$

-تسارع ناظمي: $a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$ ويوصف بأنه تسارع جذب مركزي.

الحركة الدائرية غير المنتظمة:

تحصل هذه الحركة عندما تقطع السفينة أقواس غير متساوية في أزمنة متساوية، ويتحقق ذلك إذا كان نصف قطر الدوران غير ثابت أو الانطلاق غير ثابت أو أن يكون كليهما غير ثابت، ويكون للسفينة تعجيل مركزي وتعجيل مماسي متعامدان.

سنقوم بدراسة الحركة الدائرية غير المنتظمة:

نوجد التسارع:

$$1\text{-التسارع الزاوي: } \omega = \text{changeable} \text{ أي } \alpha = (\omega)'t$$

بعد أن قمنا بإيجاد التسارع يمكننا حساب السرعة الزاوية من العلاقة:

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

حيث:

ω : السرعة الزاوية في اللحظة الحالية (rad.s^{-1}).

α : التسارع الزاوي في اللحظة الحالية (rad.s^{-2}).

t : الزمن (s).

ω_0 : السرعة الزاوية في اللحظة السابقة (rad.s^{-1}).



ويمكننا حساب السرعة أيضاً من القانون التالي:

$$\omega^2 - \omega_0^2 = + 2\alpha (\theta - \theta_0)$$

حيث:

ω^2 : السرعة الزاوية في اللحظة الحالية (rad.s^{-1}).

ω_0^2 : السرعة الابتدائية (rad.s^{-1}).

θ : الزاوية عند نهاية المجال (الإزاحة) (rad).

θ_0 : الزاوية البدائية للسفينة (rad).

α : التسارع الزاوي في اللحظة الحالية (rad.s^{-2}).



ويمكننا حساب الموضع أيضاً من القانون التالي:

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

حيث:

θ : الزاوية عند نهاية المجال (الإزاحة) (rad).

α : التسارع الزاوي في اللحظة الحالية (rad.s^{-2}).

t : الفاصل الزمني بين كل لحظة و التي تليها (s).

ω_0 : السرعة الزاوية الابتدائية (rad.s^{-1}).

θ_0 : الزاوية البدائي للسفينة (rad).



2- التسارع الخطي: مركبات التسارع الخطي: $\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_c$

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_c^2}$$

نوجد الزاوية:

$$\tan \theta = \frac{a_c}{a_t} \Rightarrow \theta = \tan^{-1} \frac{a_c}{a_t}$$

بعد أن وجدنا التسارع كامل التسارع لنحصل على السرعة:

$$\int a dt = \int (a_t^2 + a_c^2)^{\frac{1}{2}} dt$$

$$v = \int (a_t^2 + a_c^2)^{\frac{1}{2}} dt$$

◀ دراسة تأثير الأمواج على السفينة:

بعد أن درسنا حركة السفينة والقوى المؤثرة عليها لابد لنا من دراسة تأثير الأمواج على حركة السفينة، لذلك نقوم بتوضيح بسيط حول الأمواج:

الأمواج البحرية: هي عبارة عن اضطرابات تحدث لسطح الماء

ناتجة عن تأثير الرياح على سطح البحر، وينتج عن ذلك تحرك

جزيئات الماء بشكل دائري غالباً، وهذا لأن كتلة الماء لا تتحرك،

إنما تنتقل الطاقة التي اكتسبتها الموجة من الرياح بين جزيئات الماء.

كيف تتشكل الأمواج البحرية:

الأمواج البحرية تستمد طاقتها من الرياح التي تهب فوق سطح البحر،

وتتشكل بفعل احتكاك الهواء مع سطح الماء موجات صغيرة جداً على شكل تجاعيد وكلما استمرت تلك

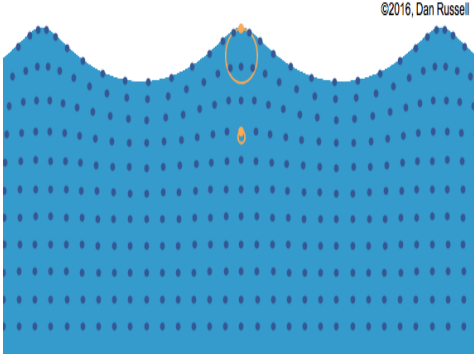
الموجات تحت تأثير الرياح تكبر وتعلو أكثر فأكثر.

لدينا ثلاث عوامل أساسية تؤثر في قوة الموج:

1- **سرعة الرياح:** كلما كانت الرياح قوية كانت الموجة عالية.

2- **مدة هبوب الرياح:** حيث إن علو الموج يكبر كلما دامت الرياح أطول.

3- **المسافة التي تهب عليها الرياح:** كلما كانت هذه المسافة طويلة كان علو الموج أكبر.



ويمكننا حساب سرعة الموج من العلاقة التالية:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

حيث:

λ : طول الموجة (m).

v : سرعة الموجة ($m.s^{-1}$).

T : دور الموجة (s).

f : تردد الموجة (Hz).

بعد أن حسبنا سرعة الموج يمكننا دراسة سرعة السفينة بعد تأثير الموج عليه:

نميز حالتين:

1- طول الموجة صغير تنكسر وتقلل من سرعة السفينة ولا تغير مكانها:

$$V_{total} = V_{ship} - V_{wave} \quad \text{وبالتالي تكون:}$$

2- طول الموجة كبير كفاية، نميز عدة حالات:

هنا السفينة تتساقط الموجة وتصبح السفينة والموجة جسم واحد وهذا يُعرف بالصدم اللين:

بفرض كتلة السفينة M وسرعتها \vec{v}_1 تكون كمية الحركة لها: $\vec{P}_1 = M\vec{v}_1$

وبفرض كتلة الموجة m وسرعتها \vec{v}_2 تكون كمية الحركة لها: $\vec{P}_2 = m\vec{v}_2$

◀ الحالة الأولى:

السفينة في حالة سكون:

لحظة الصدم تؤثر على الجملة قوتان:

$$\vec{W} = (M + m) * g \quad \text{1- قوة الثقل:}$$

$$\vec{F}_{float} = \rho * v * g \quad \text{2- قوة الطفو:}$$

يمكننا حساب كتلة الموجة

المؤثرة على السفينة من خلال القانون:

$$m = \rho * V \quad \text{حيث: } v \text{ الحجم.}$$

$$m = \rho \frac{1}{2} \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \right)$$

الجملة بحكم معزولة فإن كمية الحركة مصونة:

$$\vec{P}_i = \vec{P}_f \quad \text{بعد الصدم} \quad \text{قبل الصدم}$$

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}'$$

$$M\vec{v}_1 + m\vec{v}_2 = (M + m)\vec{v}' \quad \text{ولكن } v_1 = 0 \text{ السفينة ساكنة}$$

بالإسقاط على محور موجه بجهة الموجة (جهة الحركة):

$$mv_2 = (M + m)v' \Rightarrow v' = \frac{mv_2}{m+M} \quad \text{سرعة السفينة بعد الصدم}$$

◀ الحالة الثانية:

السفينة في حالة حركة وبجهة الموجة:

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}'$$

$$M\vec{v}_1 + m\vec{v}_2 = (M + m)\vec{v}'$$

بالإسقاط على محور موجه بجهة الموجة (جهة الحركة):

$$Mv_1 + mv_2 = (M + m)v' \Rightarrow v' = \frac{Mv_1 + mv_2}{m+M} \quad \text{سرعة السفينة بعد الصدم}$$

◀ الحالة الثالثة:

السفينة في حالة حركة ووجه حركتها عكس جهة الموجة:

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}'$$

$$M\vec{v}_1 + m\vec{v}_2 = (M + m)\vec{v}'$$

بالإسقاط على محور موجه بجهة السفينة (جهة الحركة):

$$Mv_1 - mv_2 = (M + m)v' \Rightarrow v' = \frac{Mv_1 - mv_2}{m+M} \quad \text{سرعة السفينة بعد الصدم}$$

ملاحظة:

والان يمكننا إيجاد موضع السفينة من خلال تعويض السرعة الناتجة في معادلات الموضع السابقة.

بعد صدم الموجة للسفينة وركوب السفينة لهذه الموجة فأنها ترتفع مسافة معينة عن سطح البحر ولحساب هذا الارتفاع نطبق **نظرية الطاقة الحركية بين الوضعين:**
الأول: لحظة الصدم.

الثاني: لحظة الوصول إلى أعلى ارتفاع.

$$\sum \bar{W}_{\vec{F}_{1 \rightarrow 2}} = \Delta Ek$$

أعلى ارتفاع السرعة معدومة $v_2 = 0$ حيث: $w_{\vec{\omega}}$ عمل قوة الثقل، $W_{\vec{f}}$ عمل قوة الطفو $w_{\vec{\omega}} + W_{\vec{f}} = Ek_2 - Ek_1$

$$-\omega h + \rho v g h = 0 - \frac{1}{2} m_1 v_1^2$$

$$h((m_1 + m_2) * g - \rho V g) = \frac{1}{2} m_1 v_1^2$$

$$h = \frac{m_1 v_1^2}{2[(m_1 + m_2) * g - \rho V g]}$$

وهو ارتفاع السفينة وهي ساكنة

وهذا الارتفاع عندما تكون السفينة ساكنة.

أما عندما تكون متحركة:

الحالة الأولى: السفينة بجهة حركة الموج:

يُضاف عمل قوة الدفع وهو موجب (العمل موجب محرك):

$$\sum \bar{W}_{\vec{F}_{1 \rightarrow 2}} = \Delta Ek$$

$$w_{\vec{\omega}} + W_{\vec{f}} + w_{\vec{F}_{\text{thrust}}} = Ek_2 - Ek_1$$

$$-\omega h + \rho v g h + d \cos \theta * F_{\text{thrust}} = 0 - \frac{1}{2} m_1 v_1^2$$

$$h((m_1 + m_2) * g - \rho V g) - d \cos \theta * F_{\text{thrust}} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2$$

$$h = \frac{m_1 v_1^2}{2[(m_1 + m_2) * g - \rho V g - d \cos \theta * F_{\text{thrust}}]}$$

وهو ارتفاع السفينة وهي متحركة

الحالة الثانية: السفينة عكس جهة حركة الموج:

يُضاف عمل قوة الدفع سالب (العمل سالب مُقاوم):

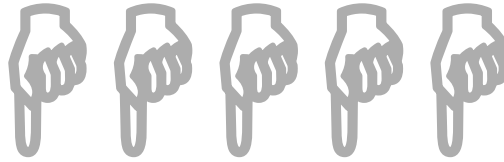
$$\sum \vec{W}_{\vec{F}_{1 \rightarrow 2}} = \Delta E_k$$

$$W_{\vec{\omega}} + W_{\vec{f}} + W_{\vec{F}_{\text{thrust}}} = E_k_2 - E_k_1$$

$$-\omega h + \rho v g h - d \cos \theta * F_{\text{thrust}} = 0 - \frac{1}{2} m_1 v_1^2$$

$$h((m_1 + m_2) * g - \rho V g) + d \cos \theta * F_{\text{thrust}} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2$$

وهو ارتفاع السفينة وهي متحركة $h = \frac{m_1 v_1^2}{2[(m_1 + m_2) * g - \rho V g + d \cos \theta * F_{\text{thrust}}]}$



الفصل الثالث:

◀ الدراسة الرياضية:

سنقوم بتجربة دراستنا الفيزيائية على السفينة (Hapag-Lloyd Jakarta Express)، لذلك سنقوم بسرد بعض المعلومات التي سنحتاجها في تجربتنا والتي تم استخراجها من معلومات التصنيع لهذه السفينة.

- كتلة السفينة تساوي تقريباً 64000000 (كغ)الوزن الاجمالي مع البضائع.
- السطح المعرض للماء (A) تكون قيمته التقريبية $(Width * Height = 160m^2)$.
- السطح المعرض للرياح هو $(Width * Height)$ اي $(22 m * 40 m = 440 m^2)$.
- تسارع الجاذبية الأرضية $\approx 10m.s^{-2}$ وكثافة الماء $p=1000$.

كيف ستتحرك السفينة؟

تتأثر السفينة بأكثر من قوة لتبقى ثابتة ومستقرة على سطح الماء، وهما قوتا الثقل وقوى ارخميدس، من جهة أخرى تكون الحركة الانسحابية هي حركة ناتجة عن المحرك الذي يكون له الدور الأساسي في عملية الحركة للأمام وبالتالي بفرض أن السفينة تكون عند درجة حرارة وضغط قياسي (SATP) :

نقوم بتعويض هذه القيم في القوانين الفيزيائية المدروسة سابقاً:

قوة الثقل:

$$w=m*g =64,000,000*10= 640,000,000 \text{ N}$$

قوة ممانعة الماء:

$$F_{\text{friction}} = \frac{1}{2} * c * A * \rho * v^2$$

$$F_{\text{friction}} = 0.5 * 0.04 * (40 * 4) * 1000 * (7)^2 = 165,800 \text{ N}$$

قوة الرياح:

بحال كانت الرياح بجهة حركة السفينة يكون:

$$F_{\text{drag}} = \frac{1}{2} * c * A * \rho * v^2$$

$$= 0.5 * 0.04 * 440 * 1000 * (21)^2$$

$$F_{\text{drag}} = 40,233 \text{ N}$$

قوة الطفو:

$$F_{\text{float}} = \rho * V * g = 1000 * 64000 * 10 = 640,000,000 \text{ N}$$

قوة الدفع:

يتراوح عدد الدورات بين 80 و 150 دورة بالدقيقة وباعتبار ان عدد الدورات بالدقيقة الواحدة هو 120 RPM

$$\omega = 2\pi \frac{\text{RPM}}{60} = \pi \frac{120}{60} = 2 = 4\pi (\text{rad/s})$$
 فتكون السرعة الزاوية

$$T = \rho * \omega * D^4 * (\text{pitch}) = 1000 * 4\pi * (7)^4 * (20) = 602880000 \text{ N}$$

الفصل الرابع:

◀ الدراسة الخوارزمية:

سننتقل في هذا القسم إلى وضع خوارزمية حل ما من خلالها سيتم تحديد آلية العمل وآلية الإدخال والإخراج وكيفية قيام البرنامج بأداء عمله وذلك وفقاً للخطوات التالية:

أولاً:

اخترنا أن يكون العمل والتنفيذ ضمن بيئة "Three.js" والتي تعد مكتبة لـ "JavaScript" حيث يمكن من خلالها إنشاء وعرض رسومات ثلاثية الأبعاد، إضافة إلى ما توفره من ميزات وخصائص إبداعية وقدرات على التعامل مع واجهات برمجة التطبيقات.

● تتبع الوقت في البرنامج عن طريق `clock class` من خلال إنشاء كائن `object` منه، يمكننا استخدام التابع

`getDeta()` الذي يرد الوقت المنقضي بين الإطار الذي تم عرضه مؤخراً والإطار المعروض حالياً على الشاشة.

● استخدام التابع `animate()` المسؤول عن تحقيق الحركة بناءً على الإحداثيات الناتجة من تطبيق مجموعة القوانين الفيزيائية.

ثانياً:

تحديد المشكلة والمهمة المطلوب تنفيذها:

بالعودة إلى الدراسة الفيزيائية نجد أن الحركة العامة لهذه الظاهرة تتم وفقاً لآلية حركية معينة تتبع قوانين تغيرات السرعة والتسارع في كل لحظة زمنية إضافة إلى تغير الطفو فضلاً عن قوة الرياح المؤثرة على الحركة ولا ننسى أن القوى الأساسية تتمثل في قوة الثقل وقوة مقاومة الماء وما يؤثر فيها من عوامل فيزيائية تم البحث فيها ودراستها جيداً. أذاً أصبح من الواضح ما هي طبيعة المهمة المراد تنفيذها والتي تتمثل في تهيئة كل ما تمت دراسته مسبقاً مع مراعاة القيود التي من الممكن أن تؤثر عليها حتى نتمكن في النهاية من الحصول على محاكاة قريبة من الواقع قدر الإمكان إن أولى خطواتنا ستكون في تحديد المدخلات التي يسمح إدخالها قبل البدء بالتجربة وهي:

الثوابت الاساسية	المتغيرات الاساسية
-كتلة السفينة m (kg) .	-عدد دورات المروحة في الدقيقة RPM .
-تسارع الجاذبية الأرضية g ($m.s^{-2}$) .	-السرعة الزاوية لمروحة السفينة ($rad.s^{-1}$) .
-معامل الاحتكاك مع الماء C (ليس له واحدة) .	-سرعة الرياح بالنسبة لسرعة السفينة ($m.s^{-1}$) .
-معامل الاحتكاك مع الهواء C (ليس له واحدة) .	-حجم الجزء من السفينة المغمور بالماء $v(m^3)$.
-قطر المروحة $d(m)$.	
-زاوية المروحة $pitch$ (inch) .	
-مساحة السطح العمودي على شعاع السرعة A (المساحة التي يؤثر عليها الماء m^2) .	
-مساحة السطح العمودي على شعاع السرعة A (المساحة التي يؤثر عليها الهواء m^2) .	
-كثافة الماء ρ ($kg.m^3$) .	
-كثافة الهواء ρ ($kg.m^3$) .	

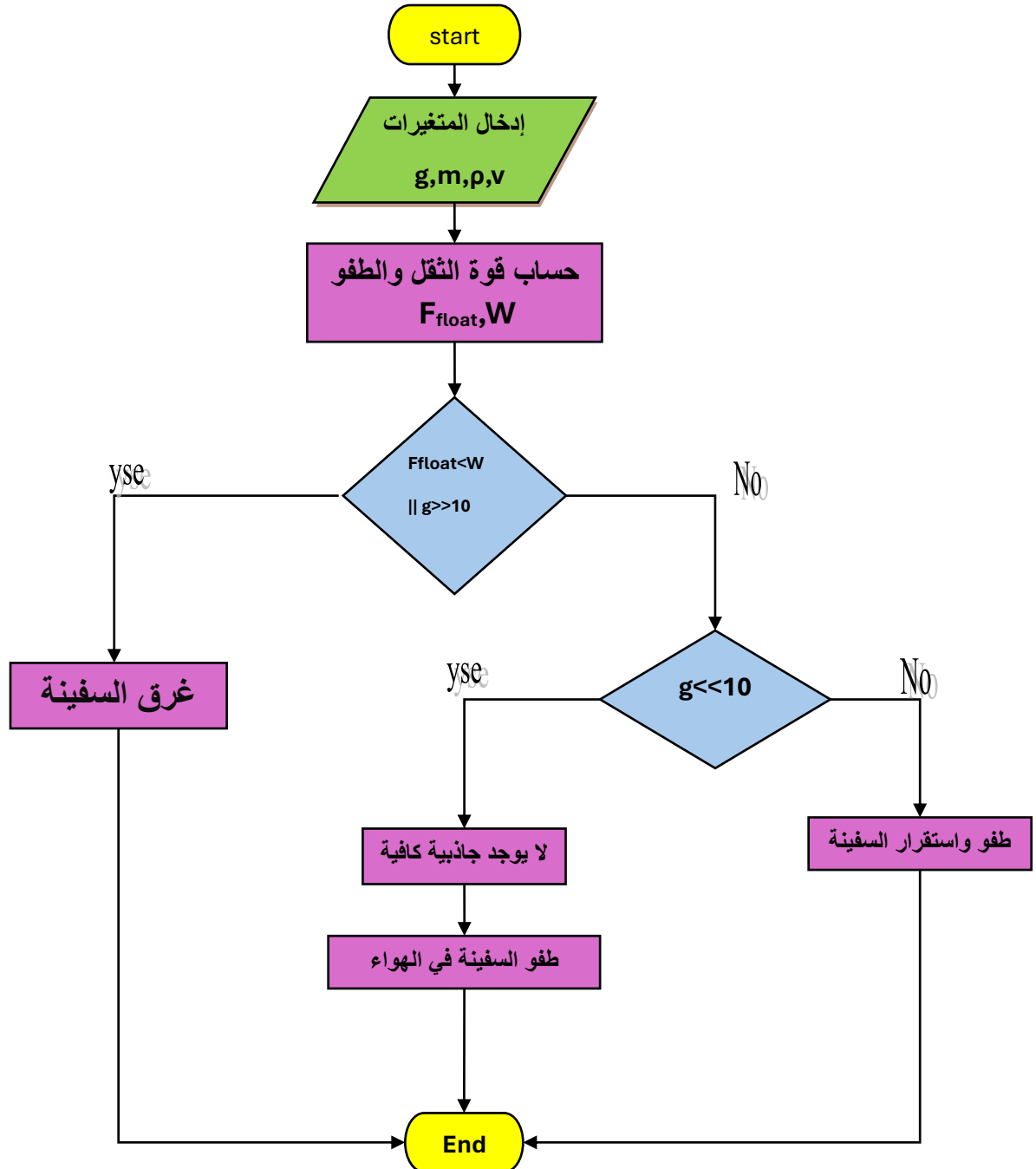
المخرجات الاساسية

- قوة الثقل (\vec{W}) .
- قوة الطفو (\vec{F}_{float}) .
- قوة مقاومة الهواء $(\vec{F}_{friction})$.
- قوة مقاومة الماء (\vec{F}_{drag}) .
- قوة الدفع (\vec{F}_{thrust}) .
- التسارع الناتج عن محصلة القوة السابقة المؤثرة على السفينة وهي قيمة متغيرة (\vec{a}) .
- السرعة التي تبلغها السفينة في كل لحظة (\vec{v}) .

ملاحظة هامة: سنجد عند التنفيذ يتطلب من المستخدم إدخال الثوابت الاساسية أيضاً (مع العلم أنها ثوابت لا تتغير قيمتها) ، ولكن نحن ندرس محاكاة للسفينة لذلك يجب علينا معالجة جميع الحالات، فجعلنا المستخدم يدخل جميع القيم لكي يشاهد ماذا يحدث، مثلاً عندما يدخل قيمة الجاذبية صفر تطير السفينة أم عندما يدخلها بقيمة أكبر من قيمتها الأساسية تغرق السفينة وهكذا تمت معالجة بقية الحالات الشاذة.

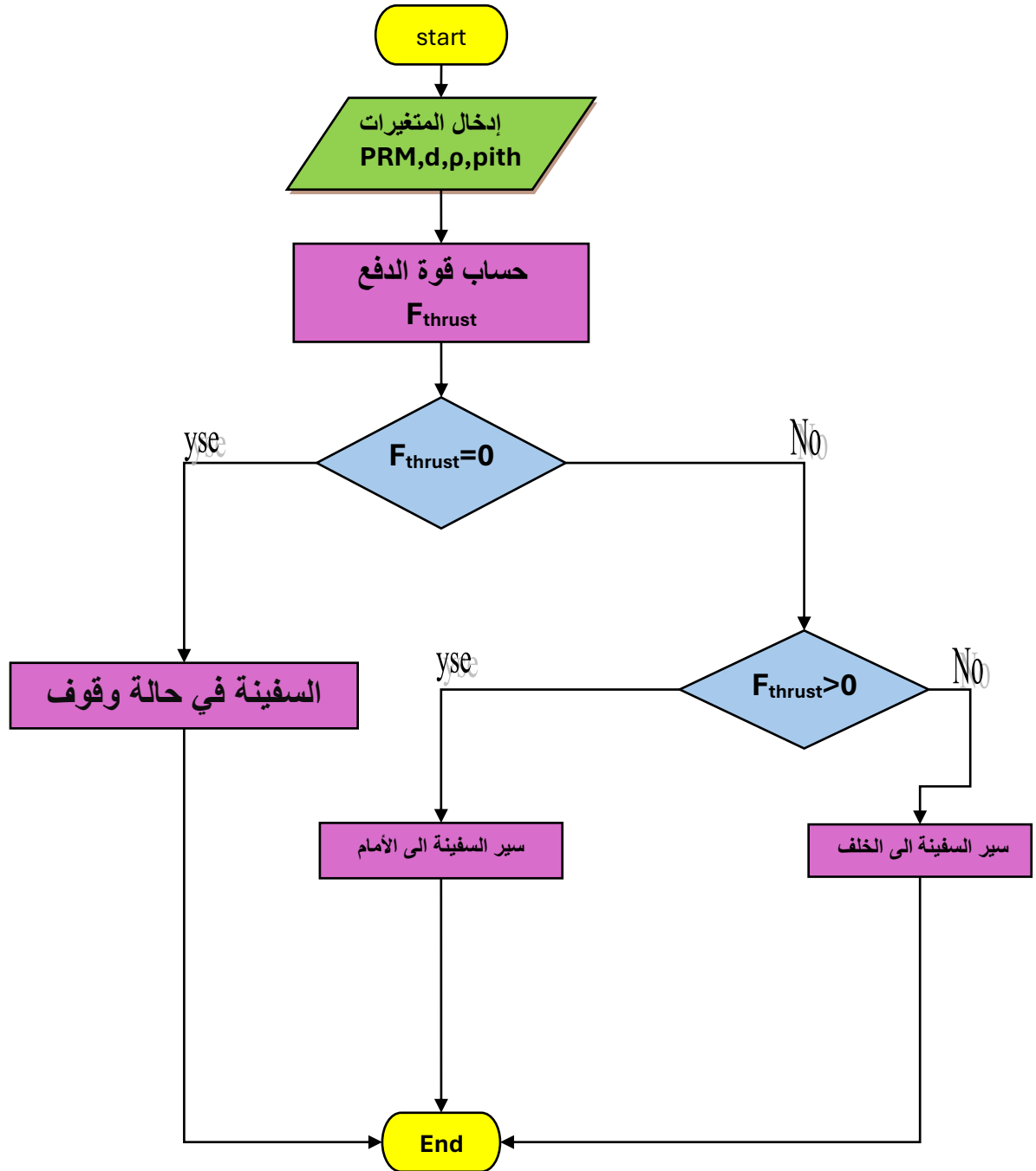
طفو السفينة

في هذه المرحلة يجب على ربان السفينة أن يقوموا بضبط ثقل السفينة للمحافظة على طوفانها وحمايتها من الغرق، وذلك عند تحميل البضائع يجب الأخذ بعين الاعتبار أن قوة الثقل يجب ألا تتجاوز قوة الطفو (دافعة أرخميدس)، وعند إفراغ السفينة من البضائع يتم ملئ خزانات الصابورة بالماء أيضاً من أجل توازن السفينة، وفي ما يلي المخطط التدفقي (Flow charts) المعبر عن تمثيل هذه القوى:



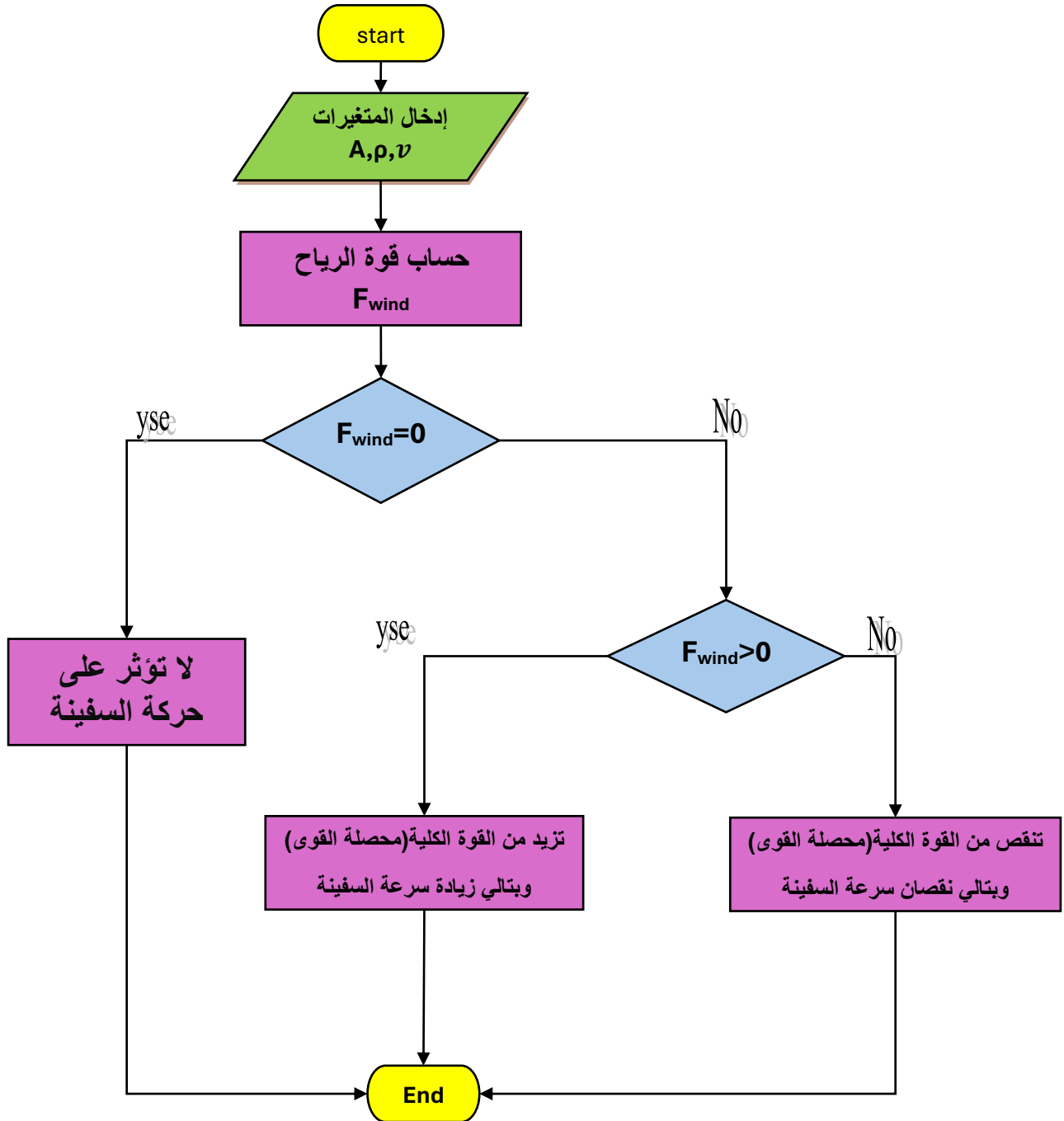
إقلاع السفينة

في هذه المرحلة يجب على ربان السفينة أن يقوموا بضبط قوة دفع السفينة للحصول على إقلاع ناجح وسليم ، وفي ما يلي المخطط التدفقي (Flow charts) المعبر عن تمثيل هذه القوة:



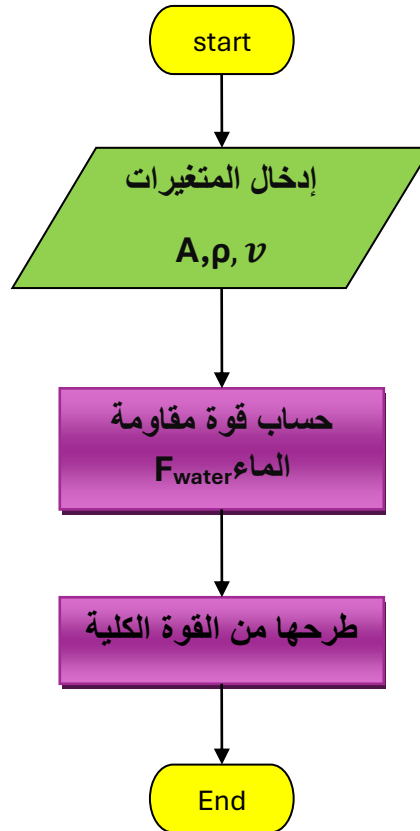
تأثير الرياح على السفينة

لابد من دراسة تأثير الرياح على السفينة وأخذها بعين الاعتبار، لأنها ذات تأثير مهم على حركة السفينة وتوازنها، وقد درسنا التأثير الفيزيائي للرياح على حركة السفينة في جميع حالاتها في فصل الدراسة الفيزيائية، أما الان سنعرض الدراسة الخوارزمية لهذه القوة من خلال المخطط التدفقي (Flow charts).



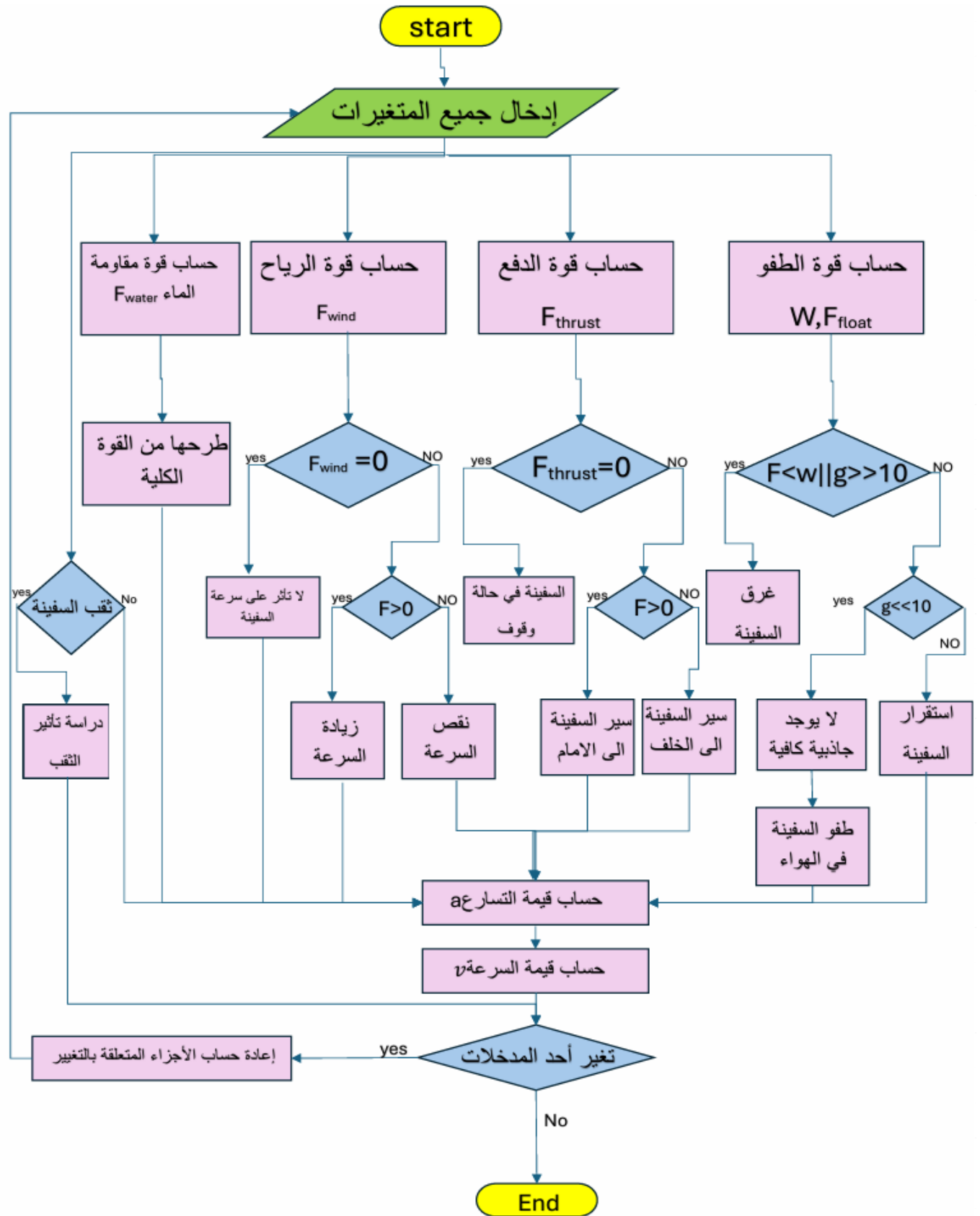
تأثير ممانعة الماء على السفينة

قوة مقاومة الماء هي قوة دائما تعيق حركة السفينة (عكس جهة الحركة)، لذلك هي قوة تقوم بإنقاص القوة الكلية وبالتالي نقصان سرعة السفينة، وفيما يلي المخطط التدفقي المعبر عن تمثيل هذه القوة:



يمكن للمستخدم التعديل على المدخلات التي قام بتحديد لها عند بدء التجربة، وعند التعديل على أي مدخل سنقوم بإعادة معالجة جميع التفاصيل السابقة للتأكد من ارتباط جميع العناصر مع بعضها البعض.

سنقوم الان بعرض المخطط التدفقي (Flow Charts) للتجربة كاملة:



الفصل الخامس:

◀ أبرز الصعوبات وطريقة حلها:

- 1- من ناحية الدراسة قلة المصادر والمراجع العلمية التي تعطي قوانين ثابتة يمكن بناء محاكاة عليها، الغالبية العظمى يعتمد علاقات رياضية معينة بناءً على بعض القيم التجريبية، قمنا بحل المشكلة بكثرة البحث في العديد من المراجع وربط المعلومات ببعضها وتجريبها من خلال مراجعة مخرجاتها والتأكد منها من خلال مراجع أخرى.
- 2- من الناحية البرمجية صعوبة في الحصول على الموديل والمكاتب المناسبة حيث إن أغلب الموديل والمكاتب المناسبة مدفوعة.

الفصل السادس:

◀ الدراسة البرمجية:

تقسم البنية البرمجية إلى جزئين أساسيين هما:

❖ جزء الرسوميات (Graphics) مع الربط الفيزيائي ويحوي الصفوف:

`style.css` : يقوم بعرض الرادار في أعلى الشاشة لتحديد موقع السفينة.

`eventListeners.js` : يحوي هذا الصف على التوابع الخاصة بالاستماع الى لوحة المفاتيح واستجابة السفينة لها.

`gui.js` : يقوم هذا الصف باستدعاء المكتبة اللازمة لإنشاء الواجهات الرسومية وربط القيم الفيزيائية بها.

`ice.js` : هذا الصف لإنشاء موديل الجبل الجليدي.

`SoundPlayer` : تم استخدام هذا الصف لإضافه الأصوات المناسبة لأحداث المشروع.

`inputs.js` : يقوم هذا الصف باستدعاء المكتبة اللازمة لإنشاء الواجهات الرسومية لإدخال المتغيرات الفيزيائية والتعديل عليها أيضاً.

❖ جزء الفيزياء (physics) ويحوي الصفوف:

AirFriction: يحوي هذا الصف على التابع الخاص بحساب قوة الرياح.

ThrustForce : يحوي هذا الصف على التابع الخاص بحساب قوة الدفع.

WaterFriction : يحوي هذا الصف على التابع الخاص بحساب قوة مقاومة الماء.

Floating : يحوي هذا الصف على التوابع الخاصة بحساب قوة الثقل وقوة الطفو.

Wave : يحوي هذا الصف على التوابع الخاصة بحساب تأثير الموج على السفينة.

Physics: يحوي هذا الصف التوابع الخاصة بحساب السرعة والتسارع في كل لحظة وتحديث قيمهما.

rotationMovement: يحوي هذا الصف التوابع الخاصة بحساب الحركة المنحنية للسفينة.

الفصل السابع:

◀ تقسيم العمل:



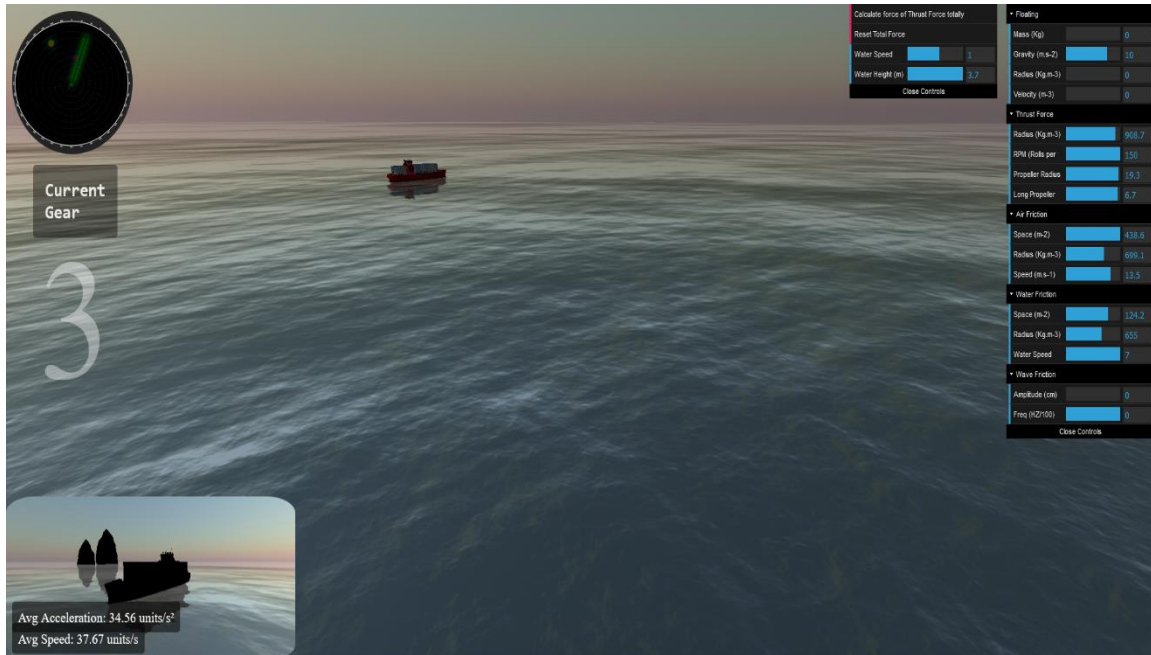
الفصل الثامن:

الناتج:

- سنقوم في هذا الفصل بعرض بعض النتائج التي تم تطبيقها على السفينة:
السفينة في حالة وقوف بالوضع الطبيعي (متوازنة):



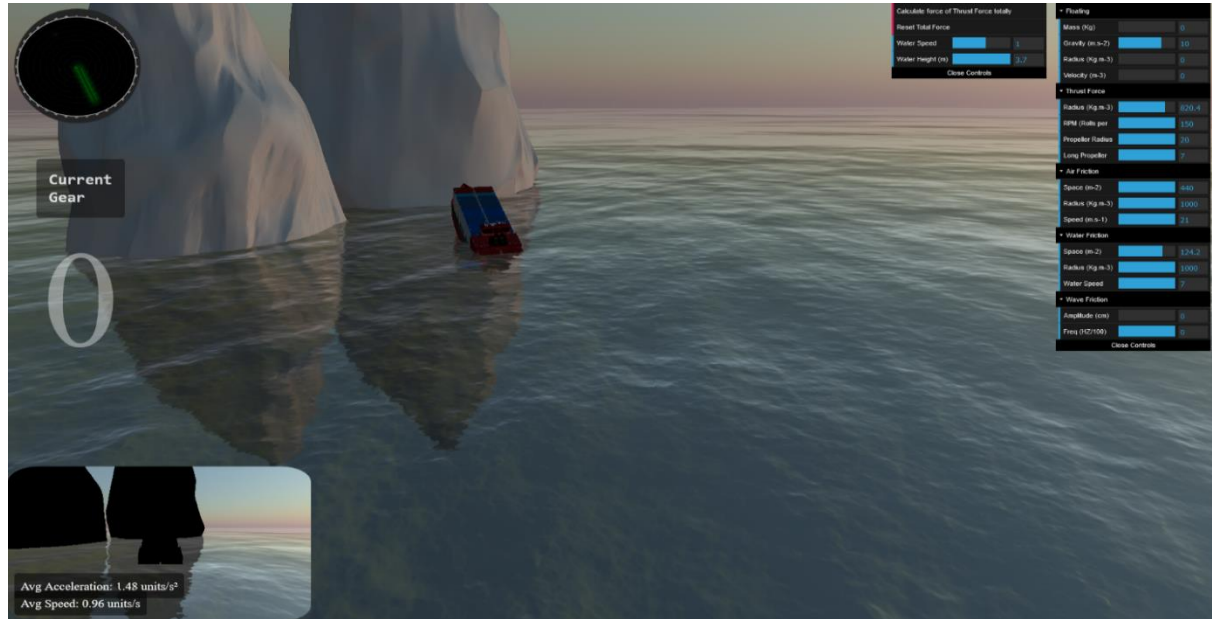
السفينة في حالة سير الى الامام:



السفينة في حالة غرق نتيجة الحمولة الزائدة (قوة الثقل أكبر من قوة الطفو):



غرق السفينة نتيجة الاصطدام في الجبل الجليدي:



نلاحظ من الصور أعلاه أنه يتم عرض قيم جميع القوة المؤثرة على الشاشة بعد حسابها بالقوانين الفيزيائية بشكل دقيق وأيضاً عرض السرعة والتسارع في كل لحظة وإضافة تقنية ال Gear (وضع غيارات للسفينة بما يتناسب مع السرعة وزيادة ضخامة الصوت بالتزامن مع تغيير الغير) وGps لتحديد موقع السفينة كما تم إضافة المؤثرات الصوتية المناسبة مع الحدث.

<https://www.seamanmemories.com/parts-of-a-merchant-ship/>

<https://www.bahreya.com/kb/projects/71>

<https://www.damen.com>

<https://shiptracker.live/>

<https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/>

كتاب الصف الأول الثانوى و الثانى الثانوى

<https://www.quora.com/What-fraction-of-a-ship-lies-below-the-surface-of-water-given-that-the-density-of-water-is-1030-kg-m-3-The-density-of-the-ship-is-920-kg-m-3>

<https://www.physicsforums.com/threads/marine-propeller-thrust-how-do-i-calculate-it.880937/>

https://www.man-es.com/docs/default-source/document-sync-archive/basic-principles-of-ship-propulsion-eng.pdf?sfvrsn=48fc05b5_7/

https://www.researchgate.net/publication/328947137_ANALYSIS_OF_SHIP_BEHAVIOR_UNDER_INFLUENCE_OF_WAVES_AND_CURRENTS/

<https://threejs.org/docs/index.html#manual/en/introduction/Creating-a-scene>

<https://threejs.org/docs/index.html#manual/en/introduction/Loading-3D-models>

<https://threejs.org/docs/index.html#api/en/cameras/Camera>

https://youtube.com/playlist?list=PLNUxH1Wacwmna8dkbrRSzJhrd9E4LgDFd&si=BVPzrg_knmM4Xovr

