

14/05/2024

الدراسة الفيزيائية لحركة الغواصة

محمود زياد رمزي
محمد محمد زياد المجنوب
محمد غسان محمد خير الخاني
محمد أنس محمد غياث الأخرس
هشام محمد همام الزين

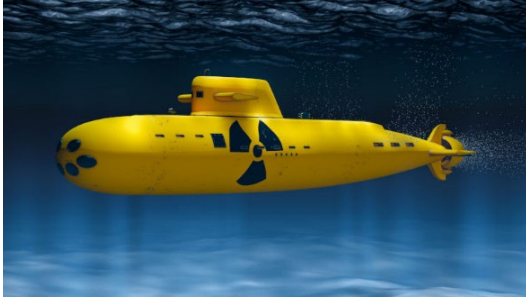
بإشراف: المهندسة غالية الصباغ

الفهرس

| | |
|----|--|
| 2 | المقدمة |
| 3 | أنواع الغواصات |
| 3 | بناءً على نوع المحركات المستخدمة في الغواصات |
| 3 | بناءً على الاستخدامات المختلفة |
| 5 | المكونات الرئيسية للغواصة |
| 6 | البيئة المحيطة |
| 6 | العوامل البيئية المؤثرة على الغواصة |
| 7 | الدراسة الفيزيائية |
| 7 | القوى المؤثرة وتحليلها |
| 7 | قوة الثقل (Weight) |
| 7 | قوة الطفو (Buoyancy) |
| 8 | قوة دفع المحرك (Thrust) |
| 9 | قوى المقاومة (Drag) |
| 11 | دراسة الحالة الحركية |
| 11 | حالة السكون وحالة السرعة الثابتة |
| 11 | حالة الحركة بسرعة غير ثابتة |
| 13 | حالات خاصة |
| 16 | الدراسة الرياضية |
| 17 | دراسة حالة السكون وحالة السرعة الثابتة |
| 18 | دراسة حالة الحركة بسرعة غير ثابتة |
| 24 | المراجع |

المقدمة

إن أهمية مادة الحسابات العلمية هي: محاكاة ظاهرة ما بهدف توفير الموارد والجهد اللازم لتجربتها على أرض الواقع فهذا المشروع هو نمذجة ومحاكاة للغواصات وتوقع نتائج قريبة للواقع قدر الإمكان.



الغَوَّاصَة: هي سفينة متخصصة يمكنها أن تغوص تحت سطح الماء، وكذلك أن تطفو وبإمكانها التنقل تحت سطح الماء، حيث يعتقد أن أول غواصة صُممت في عام 1620 على يد الهولندي فون دريبل حيث صمم غواصة صغيرة لها 12 مجدفًا غاصت في نهر التايمز على عمق 3.5 - 4.5 متر وسارت 15 ساعة. لكن تم استعمالها لأول مرة على نطاق واسع

أثناء الحرب العالمية الأولى لأغراض عسكرية، وتستخدم بشكل واسع في سلاح البحرية للدول العظمى ك روسيا والولايات المتحدة وفرنسا والمملكة المتحدة. الغواصات غير الحربية تستعمل عادة لأغراض البحث العلمي. حيث تم لاحقًا استعمال الغواصات لتحميل الأسلحة النووية. وهناك غواصات تستعمل لأغراض سياحية.

أيضاً لقد تم تصنيع جيل جديد من الغواصات ذات التحكم الآلي البعيد والتي لا تحتاج إلى بحارين لقيادتها ويستعمل هذا النوع المتطور من الغواصات للبحث في المياه العميقة جدًا للبحث عن النفط أو عندما يكون العمق مصدر خطر على سلامة البحارة وقد تم استعمال الغواصات الآلي في العثور على حطام السفينة المشهورة تيتانيك.



أنواع الغواصات

بناءً على نوع المحركات المستخدمة في الغواصات:

يمكن تصنيفها إلى ثلاث فئات رئيسية:

1- الغواصات النووية (Nuclear-Powered Submarines):

تعتمد الغواصات النووية على المحركات النووية لتوليد الكهرباء وتشغيل المحركات. تستخدم وقودًا نوويًا مثل اليورانيوم أو البلوتونيوم لتسخين الماء وتوليد البخار، ومن ثم تحويل البخار إلى الكهرباء لتشغيل المحركات الكهربائية. تعتبر الغواصات النووية قادرة على العمل لفترات طويلة دون الحاجة إلى إعادة التزود بالوقود وتتميز بالسرعة والقدرة على التنقل في أعماق المحيطات.

2- الغواصات الديزلية (Diesel-Powered Submarines):

تستخدم الغواصات الديزلية المحركات الديزل لتوليد الكهرباء وتشغيل المحركات. تعتمد على حرق الوقود الديزل في محركات داخلية لتوليد الطاقة اللازمة لتشغيل المحركات الكهربائية. تتطلب الغواصات الديزلية التزود بالأكسجين الجوي لعملية الاحتراق وتحتاج إلى التزود بالوقود بشكل دوري. تعتبر هذه الغواصات أقل تكلفةً من الغواصات النووية وتستخدم بشكل رئيسي في المهام الساحلية والاستطلاعية.

3- الغواصات الهجينة (Hybrid Submarines):

الغواصات الهجينة تستخدم محركات متعددة المصادر لتوليد الكهرباء وتشغيل المحركات. قد تجمع بين محركات ديزل ومحركات كهربائية وتستخدم تقنيات التخزين الكهربائي للطاقة، مثل البطاريات الليثيوم. تستخدم الغواصات الهجينة المحركات الكهربائية في المهام الهادئة وتعتمد على المحركات العاملة بالوقود للسرعات العالية والمهام القتالية.

بناءً على الاستخدامات المختلفة:

يمكن تصنيف الغواصات إلى عدة فئات كما يلي:

1- غواصات الهجوم (Attack Submarines):

تستخدم غواصات الهجوم في الهجمات البحرية والمهام العسكرية الأخرى. تكون قادرة على تنفيذ ضربات استهدافية على الأهداف البحرية والبرية، وتتميز بالتحرك بصمت والتسلل تحت سطح الماء. تحتوي على أنظمة أسلحة متنوعة مثل الصواريخ الموجهة والصواريخ التوجيهية والأسلحة البحرية الأخرى.

2- غواصات الصواريخ الباليستية (Ballistic Missile Submarines):

تستخدم الغواصات الباليستية لحمل وإطلاق الصواريخ الباليستية، سواء كانت صواريخ نووية أو غير نووية. تعمل هذه الغواصات كمنصات للردع النووي وتشكل جزءًا من قوات الردع النووي في الدول المالكة. تتميز بقدرتها على الانغماس في المحيطات لفترات طويلة وتنفيذ ضربات استراتيجية على مسافات بعيدة.

3- غواصات الدفاع الساحلي (Coastal Defense Submarines):

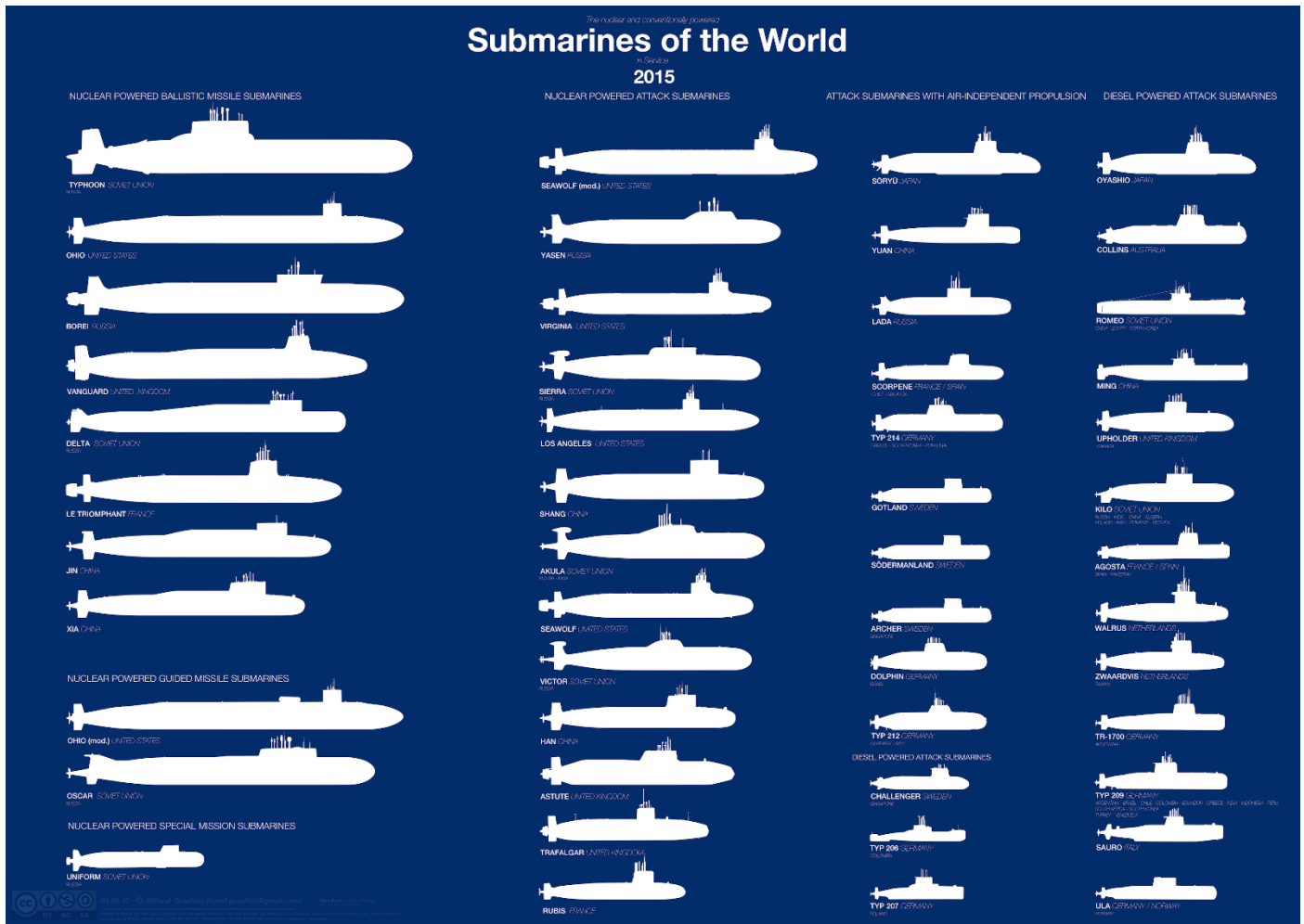
تستخدم غواصات الدفاع الساحلي لتعزيز القدرات الدفاعية للسواحل والموانئ. تعمل هذه الغواصات في المياه الضحلة وتكون قادرة على رصد ومراقبة النشاطات العسكرية والتجارية القريبة من السواحل. قد تكون مجهزة بصواريخ موجهة أو أسلحة أخرى للدفاع الساحلي.

4- غواصات الاستطلاع (Reconnaissance Submarines):

تستخدم غواصات الاستطلاع لجمع المعلومات الاستخباراتية والاستطلاعية. تتميز بقدراتها على التحرك بصمت والاختباء تحت سطح الماء لفترات طويلة، وتستخدم أنظمة الاستشعار المتقدمة مثل الأجهزة الصوتية والرادار والكاميرات لجمع البيانات ورصد الأهداف.

5- غواصات البحوث والعلوم (Research and Scientific Submarines):

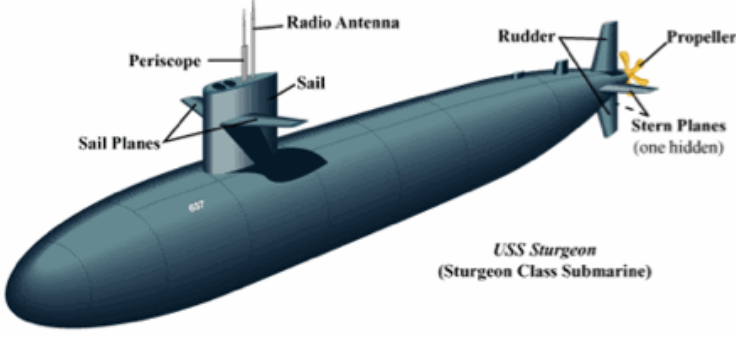
تستخدم غواصات البحوث والعلوم في الأبحاث العلمية والاستكشافات البحرية. تكون مجهزة بمعدات خاصة لدراسة المحيطات والحياة البحرية، وتستخدم لجمع العينات والبيانات العلمية. تساهم في فهمنا للبيئة البحرية والمحيطات.



المكونات الرئيسية للغواصة

1. هيكل الغواصة (Submarine Hull):

يشكل جسم الغواصة الرئيسي ويحتوي على الأقسام والأجهزة الداخلية. يتم تصميم الهيكل لتحمل الضغط المائي العالي في عمق الماء.



2. بطانة الغواصة (Submarine Liner):

توضع داخل الهيكل لمنع تسرب الماء إلى الداخل وتوفير عزل للغواصة.

3. الكابينة (Cabin):

هي مكان تواجد الطاقم وأجهزة التحكم الرئيسية. تحتوي على مراقبة الغواصة وأجهزة الاتصال وأجهزة القيادة وغيرها من الأنظمة الضرورية.

4. الأنظمة الكهربائية والإلكترونية والأجهزة البحرية:

تشمل أنظمة الطاقة الكهربائية وأنظمة المراقبة والملاحة والرادار والرصد والاستشعار والمراقبة اللازمة، وأجهزة الاتصالات وأنظمة الأمان والأنظمة الأخرى المتعلقة بالكهرباء والإلكترونيات.

5. الأنظمة الهيدروليكية والهوائية:

تستخدم لتشغيل الأجهزة المختلفة داخل الغواصة، مثل الأبواب والصواريخ والمقاييس والمراوح وغيرها.

6. نظام الدفع والمحركات:

يتكون من محركات الديزل أو النووية أو الكهربائية التي تولد القوة اللازمة لتحريك الغواصة في الماء. يشمل هذا النظام الدورات والمراوح والأجهزة ذات الصلة.

7. الأنظمة البيئية:

تشمل أنظمة التهوية وتكييف الهواء وتنقية المياه ونظام إزالة النفايات وغيرها، وتهدف إلى توفير بيئة معيشة صالحة للطاقم داخل الغواصة.

8. أنظمة الغوص والطفو:

تسمح للغواصة بالغوص والظهور إلى السطح. تشمل أنظمة التعويم والتجفيف والأجهزة المستخدمة لضبط الكثافة الإجمالية للغواصة وتوازنها في الماء.

9. الأنظمة الدفاعية:

قد تتضمن أنظمة الدفاع الجوي والأجهزة المضادة للغواصات والأسلحة الدفاعية الأخرى التي تستخدم للحماية والدفاع عن الغواصة.

البيئة المحيطة

العوامل البيئية المؤثرة على الغواصة

البيئة المحيطة بالغواصة هي المحيط البحري، وتختلف الظروف والعوامل في هذه البيئة حسب المنطقة الجغرافية والعمق والظروف البيئية المحيطة. هذه هي بعض العوامل التي قد تؤثر على بيئة الغواصة:

1. الضغط البحري:

مع زيادة العمق، يزداد الضغط المائي بشكل كبير. يجب أن تصمم الغواصات لتحمل الضغط العالي في أعماق المحيط.

2. درجة الحرارة:

تتفاوت درجات الحرارة في المحيط بين المناطق والعمق. عادةً ما تكون درجات الحرارة أبرد في المياه العميقة وأدفأ في السطح.

3. الملوحة:

تختلف مستويات الملوحة في المحيطات حول العالم. قد تكون المياه في بعض المناطق أكثر ملوحة من غيرها، مثل المحيط الأطلسي مقارنةً بالمحيط الهادئ.

4. الرؤية:

في المياه العميقة، يكون هناك قليل من الضوء الشمسي المتواجد، وبالتالي الرؤية تكون محدودة. قد تستخدم الغواصات أنظمة إضاءة خاصة أو أنظمة اكتشاف وملاحة بالأشعة تحت الحمراء للمساعدة في الرؤية.

5. الضوضاء:

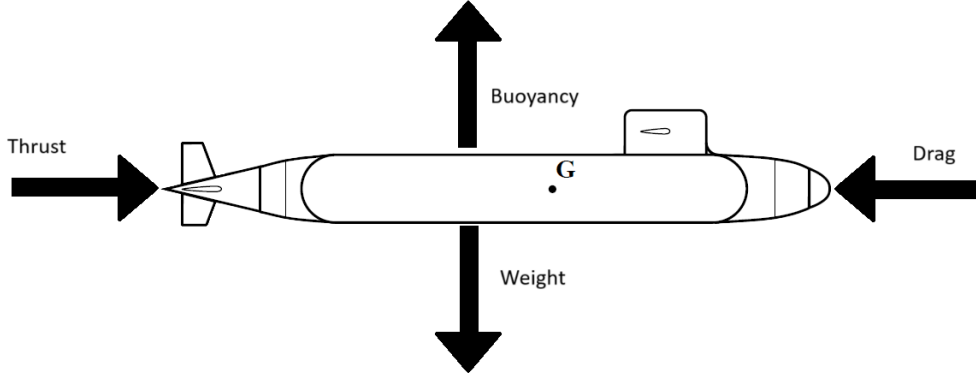
قد تكون المحيطات مليئة بالأصوات من مصادر مختلفة مثل الحيتان والدلافين والأصوات الطبيعية الأخرى. هناك أيضًا الأصوات البشرية المتواجدة من حركة السفن الأخرى وأنشطة استخراج الموارد البحرية.

6. الضغط الجوي:

عندما تكون الغواصة تحت الماء، يجب أن تكون هناك أنظمة خاصة لضبط الضغط الجوي داخل الغواصة للحفاظ على سلامة الطاقم.

الدراسة الفيزيائية

القوى المؤثرة وتحليلها:



1- قوة الثقل (Weight) W :

نتيجة عن حقل الجاذبية الأرضية، عناصرها:

- المبدأ: مركز ثقل الغواصة.
- الحامل: الشاقول على الغواصة.
- الجهة: نحو الأسفل.
- الشدة: (كتلة الجسم) \times (تسارع الجاذبية الأرضية).
- قانونها: $W = m \times g$ وتقاس بالنيوتن (N)

حيث:

- m كتلة الجسم (kg).
- g تسارع الجاذبية الأرضية (m/s^2).

2- قوة الطفو بناء على دافعة أرخميدس (F_b Buoyancy):

ينص قانون أرخميدس للطفو على أنه إذا تم غمر جسم ما في سائل، سواء كان مغموراً جزئياً أو كلياً، فإن قوة الطفو تساوي وزن السائل الذي يزيحه الجسم، ويعمل في الاتجاه المعاكس في كتلة السائل المزاح، عناصرها:

- المبدأ: مركز ثقل السائل المزاح وهي نفسها مركز ثقل الغواصة.
- الحامل: الشاقول على الغواصة.

- الجهة: نحو الأعلى.
- الشدة: (كثافة السائل) × (تسارع الجاذبية) × (حجم السائل المحتجز)
- قانونها: $F_b = \rho_{fluid} \times g \times V_{fluid}$ وتقاس بالنيوتن (N)

حيث:

- ρ كثافة السائل (kg/m^3).
- V حجم السائل المزاح (حجم الجسم المغمور) (m^3).
- g تسارع الجاذبية الأرضية (m/s^2).

الكثافة هي مقدار الكتلة لكل وحدة حجم، وتعطى بالعلاقة $\rho = \frac{m}{V}$.

حيث:

- m كتلة الجسم (kg).
- V حجم السائل المزاح (حجم الجسم المغمور) (m^3).

3- قوة دفع المحرك F_t :

قانون قوة الدفع للغواصات يمكن تعبيره بشكل عام باستخدام القانون العام للدفع الديناميكي، الذي ينص على أن كل فعل له رد فعل متساوي ومتعاكس. عندما يعمل محرك الغواصة يقوم بدفع الماء إلى الخلف بسرعة كبيرة، فإن القوة المولدة لهذا الدفع تؤدي إلى تحريك الغواصة في الاتجاه معاكس (إلى الأمام).

تطبيقاً على هذا المبدأ، يمكن تعبير قانون قوة الدفع للغواصات بمعادلة تعبر عن القوة المتولدة. ومن المهم ملاحظة أن هذه المعادلة قد تتغير اعتماداً على الظروف الخاصة لكل غواصة ومصدر الطاقة المستخدم.

المعادلة العامة تكون عادة على الشكل التالي:

$$F_t = \dot{m} \times v_e - \dot{m} \times v_0 + (p_e - p_0) \times A_e$$

حيث:

- d_m/d_t هو معدل تدفق الكتلة بالنسبة للزمن ويتم حسابه عن طريق هذا القانون:

$$\dot{m} = \frac{d_m}{d_t} = \rho_{fluid} \times A \times v_{fluid}$$

حيث:

- ρ كثافة السائل (kg/m^3).
- A المساحة التي يمر خلالها السائل (الكتلة) (m^2).
- v سرعة تدفق كتلة السائل (m/s).
- v_e هو سرعة الخروج للمحرك (سرعة الاندفاع النهائية للماء) (m/s).
- v_0 هو سرعة الماء (سرعة الغواصة) (m/s).
- p_e هو الضغط الخارجي للمحرك (في نقطة الخروج).
- p_0 هو ضغط السائل عند المنبع (الضغط عند المحرك).
- A_e هو مساحة الفتحة الخارجية للمحرك (m^2).

بفرض $p_e = p_0$ يكون قانون الدفع:

$$F_t = \dot{m} \times (v_e - v_0)$$

$$F_t = \rho_{fluid} \times A \times v_e \times (v_e - v_0)$$

4- قوى المقاومة F_d :









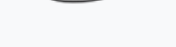
تصف القوة التي يتعرض لها جسم متحرك داخل سائل وهي قوى الاحتكاك الناتجة عن لزوجة الماء وقوى الضغط الناتجة عن تداخل الماء أمام الغواصة وخلفها، وعناصرها مطابقة تماماً لقوة الاحتكاك إنما الاختلاف بالمعامل فقط، يمكن تعبير عن محصلة هذه القوتين بقوة المقاومة والتي تقسم إلى:

❖ قوى المقاومة المطبقة على جسم الغواصة: ذات العناصر التالية:

- المبدأ: مركز ثقل الغواصة.
- الحامل: المحور الأفقي على الغواصة.
- الجهة: عكس جهة حركة الغواصة.
- قانونها: $F_d = \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \times C_d \times A$ وتقاس بالنيوتن (N)

حيث:

- ρ كثافة السائل (kg/m^3).
- v هي سرعة الغواصة بالنسبة للماء (m/s).
- A هي المساحة المرجعية لمقطع الغواصة (m^2).
- C_d هو معامل المقاومة الذي يعتمد على شكل الغواصة وخصائص سطحها وشروط التدفق.

| Shape | | Drag Coefficient |
|-----------------------|---|------------------|
| Sphere | →  | 0.47 |
| Half-sphere | →  | 0.42 |
| Cone | →  | 0.50 |
| Cube | →  | 1.05 |
| Angled Cube | →  | 0.80 |
| Long Cylinder | →  | 0.82 |
| Short Cylinder | →  | 1.15 |
| Streamlined Body | →  | 0.04 |
| Streamlined Half-body | →  | 0.09 |

Measured Drag Coefficients

$$C_d = \frac{2 \times F_d}{\rho \times v^2 \times A} \text{ وليس له وحدة قياس}$$

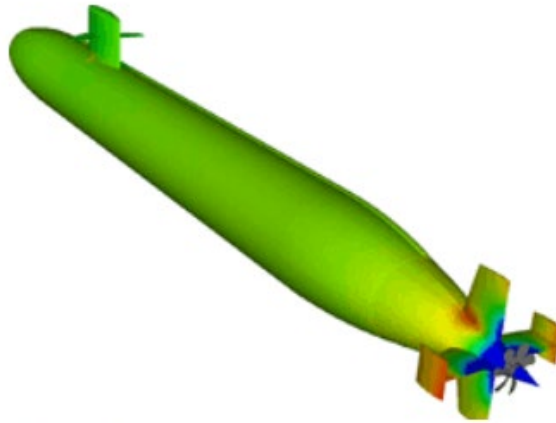


Fig. 9 Pressure distribution around a submarine

❖ قوى المقاومة المطبقة على الزعانف:

تمثل قوى المقاومة المطبقة على جسم الغواصة ولكن الاختلاف فقط أنها مطبقة على الزعانف وبالتالي المبدأ ومعامل المقاومة C_d مختلفين.

دراسة الحالة الحركية:

حالة السكون وحالة الحركة السرعة الثابتة:

تكون فيه محصلة القوى المؤثرة في الغواصة مساوية للصفر وسرعتها إما معدومة أو ثابتة بحيث يتحقق قانون نيوتن الأول والذي ينص على أن الجسم إذا كان في حالة سكون أو حالة حركة بسرعة ثابتة في خط مستقيم، فإنه سيبقى في حالة سكون أو يستمر في التحرك في خط مستقيم بسرعة ثابتة ما لم تؤثر به قوة خارجية تجبره على تغيير ذلك، وتكون محصلة القوى المؤثرة به معدومة. وهي الحالة الابتدائية للغواصة:

$$\sum \vec{F} = \vec{0}$$

1- حالة السكون التام في الماء:

تتحقق عندما تصبح قوة الطفو مساوية تماماً لقوة ثقل الغواصة وتكون سرعتها معدومة، وتكون المعادلة عندها:

$$\sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{F}_b + \vec{0} + \vec{0} = \vec{0}$$

2- حالة الحركة بسرعة ثابتة:

تكون الغواصة في هذه الحالة خاضعة لجميع القوى المؤثرة في حركتها أو بعضها، وتكون محصلة هذه القوى معدومة وسرعة الغواصة ثابتة:

$$\sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{F}_b + \vec{F}_t + \vec{F}_d = \vec{0}$$

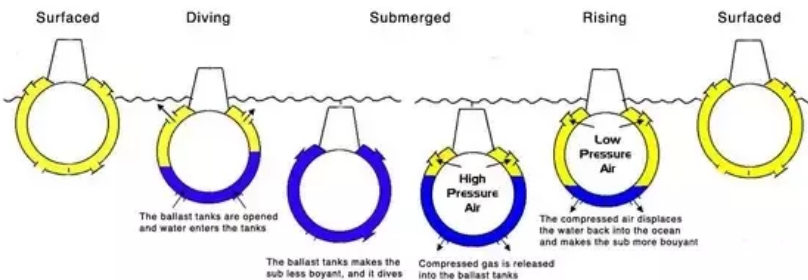
حالة الحركة بسرعة غير ثابتة:

نطبق قانون نيوتن الثاني والذي ينص على أنه إذا أثرت قوة على جسم ما فإنها تكسبه تسارعاً، يتناسب طردياً مع قوته وعكساً مع كتلته وتكون جهته بجهة هذه القوة:

$$\sum \vec{F} = m \times \vec{a}$$

$$\sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{F}_b + \vec{F}_t + \vec{F}_d = m \times \vec{a}$$

الحالات:



1- حالة الغوص:

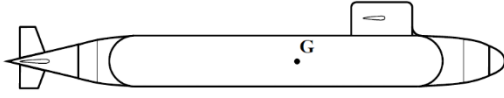
لدينا نوعان من الغوص:

- الغوص الساكن (Static Diving):

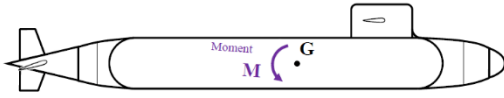
في هذا النوع من الغوص، يتم ملء حجرات خاصة بكمية من الماء مما يزيد من كتلة الغواصة نسبة الى حجمها وبالتالي زيادة كثافتها وعندما تصبح كثافة الغواصة أكبر من كثافة الماء المحيط بها تغوص شاقولياً نحو العمق.

$$\sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{F}_b + \vec{0} + \vec{0} = m \times \vec{a}$$

حيث نجعل قوة الثقل W أكبر من قوة الطفو F_b .



• الغوص الديناميكي (Dynamic Diving):



في هذا النوع من الغوص، تستخدم الغواصة زعانفها ومحركاتها لتوليد الحركة والتحكم في اتجاهها وعمقها تحت سطح الماء.

$$\sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{F}_b + \vec{F}_t + \vec{F}_d = m \times \vec{a}$$

2- حالة الطفو:

لدينا نوعان من الطفو:

• الطفو الساكن (Static Floating):

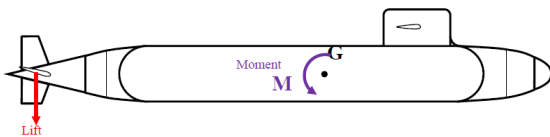
في هذا النوع من الغوص، يتم ملء حجرات خاصة بالهواء مما يؤدي الى تقليل كتلة الغواصة نسبة الى حجمها وبالتالي تقليل كثافتها وعندما تصبح كثافة الغواصة اقل من كثافة الماء المحيط بها تطفو شاقولياً نحو سطحه.

$$\sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{F}_b + \vec{0} + \vec{0} = m \times \vec{a}$$

حيث نجعل قوة الطفو F_b أكبر من قوة الطفو W.



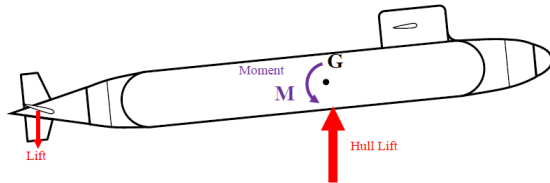
• الطفو الديناميكي (Dynamic Floating):



في هذا النوع من الطفو، تستخدم الغواصة زعانفها ومحركاتها لتوليد الحركة والتحكم في اتجاهها وعمقها تحت سطح الماء.

$$\sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{F}_b + \vec{F}_t + \vec{F}_d = m \times \vec{a}$$

3- حالة التحرك للأمام أو الخلف:



عندما تتحرك الغواصة في الاتجاه الأمامي أو الخلفي، فإن قوة الدفع التي توفرها المحركات تكون أكبر من قوة المقاومة.

$$\sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{F}_b + \vec{F}_t + \vec{F}_d = m \times \vec{a}$$

4- حالة للدوران يمين ويسار او فوق وتحت:

عندما يتم تدوير مقود الغواصة يتغير اتجاه الزعانف مما يشكل قوّة دفعٍ تُؤثر في جسم الغواصة مما يؤدي الى تغير حالة الحركة.

حالات خاصة

• حالة التحرك فوق سطح الماء وهبوب رياح:

تؤثر الرياح على سطح الماء وتقوم بزيادة الأمواج -> وبالتالي تؤثر قوتان جديدتان هما قوة الرياح wind وقوة الأمواج waves على الغواصة أثناء حركتها، إما تزيديان من قوى المقاومة drag أو تنقصانها بحسب الاتجاه، حيث:

تعطى قوة الرياح F_w :

- المبدأ: مركز ثقل الغواصة.
- الحامل: المحور الأفقي على الغواصة.
- الجهة: حسب جهة هبوب الرياح.
- قانونها: $F_w = \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \times C_d \times A$ وتقاس بالنيوتن (N)

حيث:

- ρ كثافة الهواء (kg/m^3).
- v هي سرعة الرياح بالنسبة للماء (m/s).
- A هي المساحة المرجعية لمقطع الغواصة (m^2).
- C_d هو معامل مقاومة الرياح و هو يساوي معامل المقاومة.

تعطى قوة الأمواج F_{w2} :

عناصرها مطابقة تماماً لقوة المقاومة وإنما الاختلاف بالمعامل فقط.

لذلك سنجمعها مع قوى المقاومة، ونعاملهما معاملة قوة واحدة.

ومنه:

$$\sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{F}_b + \vec{F}_t + \vec{F}_d + \vec{F}_w$$

- حالة التحرك تحت سطح الماء بوجود تيارات مائية:

تخضع الغواصة لتأثير قوى التيارات والأمواج في الأعماق، والتي تؤثر على سرعة الغواصة وتعيق حركتها:

- المبدأ: مركز ثقل الغواصة.
- الجهة: حسب جهة التيارات.
- قانونها: $F_w = \rho \times V_{submarine} \times a_{waves}$ وتقاس بالنيوتن (N)

حيث:

○ ρ كثافة الماء (kg/m^3).

○ V حجم الغواصة الكلي (m^3).

○ a تسارع التيارات (m/s^2).

ومنه:

$$\sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{F}_b + \vec{F}_t + \vec{F}_d + \vec{F}_w$$

- حالة الصدم مع جبل جليدي والتوقف التام:

في حال اصطدام الغواصة مباشرة مع جبل جليدي من الأمام، فسوف تتوقف ويصيبها تشوه ويتم ضياع الطاقة بسبب عوامل المقاومة والاحتكاك، ومنه حسب مبدأ مصونية شعاع كمية الحركة:

$$\vec{P}_{submarine} + \vec{P}_{iceberg} = \vec{P}_{after-collision}$$

$$m_{submarine} \times \vec{v}_{submarine} + m_{iceberg} \times \vec{v}_{iceberg} = (m_{submarine} + m_{iceberge}) \times \vec{v}_{after}$$

$$m_{submarine} \times \vec{v}_{submarine} + m_{iceberg} \times 0 = (m_{submarine} + m_{iceberge}) \times \vec{v}_{after}$$

$$v_{after} = \frac{m_{submarine}}{(m_{submarine} + m_{iceberg})} \times v_{submarine}$$

حسب قانون مصونية الطاقة (الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من العدم إنما تنتقل من شكل إلى آخر)، والسرعة بعد الصدم ستكون معدومة تقريباً لأن كتلة ال iceberg كبيرة جداً، ومنه:

$$E_{k_{submarine}} + E_{k_{iceberg}} = E_{K_{after-collision}} + \textit{Energy}_{lost}$$

$$\frac{1}{2} \times m_{submarine} \times v_{submarine} + \frac{1}{2} \times m_{iceberg} \times v_{iceberg} =$$

$$\frac{1}{2} \times (m_{submarine} + m_{iceberge}) \times v_{after} + \textit{Energy}_{lost}$$

$$\frac{1}{2} \times m_{submarine} \times v_{submarine} + \frac{1}{2} \times m_{iceberg} \times 0 =$$

$$\frac{1}{2} \times (m_{submarine} + m_{iceberge}) \times 0 + \textit{Energy}_{lost}$$

$$\frac{1}{2} \times m_{submarine} \times v_{submarine} + 0 = 0 + \textit{Energy}_{lost}$$

تتحول الطاقة الحركية للغواصة قبل الصدم إلى طاقة ضائعة بعد الصدم.

الدراسة الرياضية:

سنقوم بتجربة الدراسة الفيزيائية على الغواصة Type-212CD Submarine، والمعلومات الخاصة بها:

• كتلتها m : 2500 (ton) فوق سطح الماء، 2800 (ton) تحت سطح الماء.

• طولها L : 73 (m).

• ارتفاعها h : 13(m).

• قطر مقطعها: 10 (m).

• سرعتها v : > 20 knot

(37 km/h \rightarrow 10.27 m/s)

باعتبار:

▪ الجاذبية الأرضية $g = 9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$

▪ معامل المقاومة الخاص بها: $C_d = 0.04 \text{ (N/A)}$

▪ كثافة المياه $\rho_{\text{water}} = \sim 1028 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

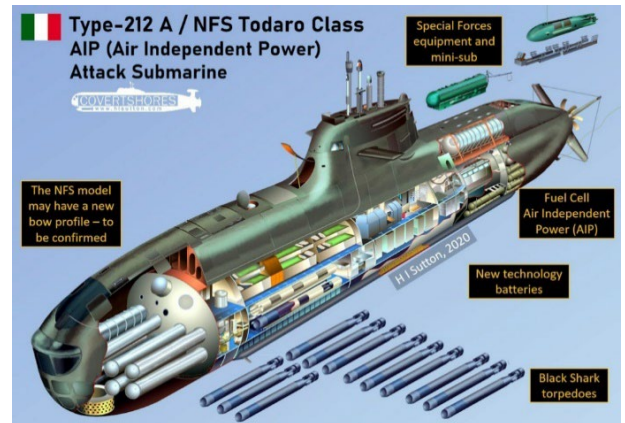
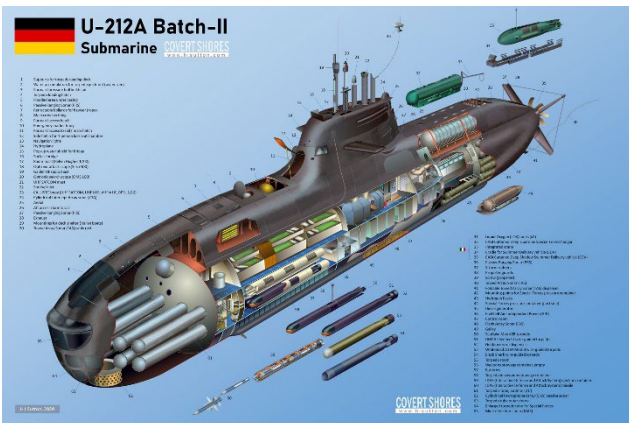
▪ كثافة المياه $\rho_{\text{air}} = \sim 1.293 \text{ kg (kg/m}^3\text{)}$

عند درجة حرارة 0° .

❖ حساب مساحة سطح الغواصة A والتي تساوي:

$$A = 2 \times \pi \times r \times L + 2 \times \pi \times r^2 = 2 \times 3.14 \times 73 + 3.14 \times 5^2 \approx 2450.44227 \text{ (m}^2\text{)}$$

بفرض أن الغواصة أسطوانة: نصف قطر قاعدتها 5m، وارتفاعها= طولها 73m.



دراسة حالة السكون والحركة بسرعة ثابتة:

1- حالة السكون التام في الماء:

$$\sum \vec{F} = \vec{0}$$

$$\vec{W} + \vec{F}_b + \vec{0} + \vec{0} = \vec{0}$$

$$W + F_b + 0 + 0 = 0$$

فوق سطح الماء:

$$W = m \times g = 2.5 \times 10^6 \times 9.81 = 24.525 \times 10^6 (N)$$

$$F_b = W = 24.525 \times 10^6 (N)$$

تحت سطح الماء:

$$W = m \times g = 2.8 \times 10^6 \times 9.81 = 27.468 \times 10^6 (N)$$

$$F_b = W = 27.468 \times 10^6 (N)$$

2- حالة الحركة بسرعة ثابتة:

$$\sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{F}_b + \vec{F}_t + \vec{F}_d = \vec{0}$$

$$W + F_b + F_t + F_d = 0$$

فوق سطح الماء:

$$W = F_b = 24.525 \times 10^6 (N)$$

$$F_d = \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \times C_d \times A = \frac{1}{2} \times 1028 \times 105 \times 0.04 \times A = 169,465.8 (N)$$

حيث أفقياً A تساوي مساحة المقطع العرضي للغواصة (دائرة) ومنه: $A = \pi \times r^2 = \pi \times 5^2 = 78.5 (m^2)$

$$F_T = F_d = 169,465.8 (N)$$

تحت سطح الماء:

$$W = F_b = 27.468 \times 10^6 (N)$$

$$F_d = \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \times C_d \times A = \frac{1}{2} \times 1028 \times 105 \times 0.04 \times 78.5 = 169,465.8 \text{ (N)}$$

$$F_T = F_d = 169,465.8 \text{ (N)}$$

دراسة حالة الحركة بسرعة غير ثابتة:

1- حالة الغوص:

• الغوص الساكن (Static Diving):

بفرض الغوص بدءاً من حالة السكون التام:

$$\sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{F}_b + \vec{F}_t + \vec{F}_d = m \times \vec{a}$$

$$-W + F_b + 0 + 0 = m \times a$$

$$-W + F_b = m \times a$$

حساب قوة الثقل:

$$W = m \times g$$

$$W = 2.8 \times 10^6 \times 9.81 = 27.468 \times 10^6 \text{ (N)}$$

حساب قوة الطفو:

$$F_b = \rho_{fluid} \times g \times V_{fluid}$$

نحتاج إلى حساب حجم السائل المزاح بحيث يكون وزن السفينة أكبر من قوة الطفو المؤثرة عليها كي تغوص:

$$W > F_b$$

$$m \times g > \rho_{fluid} \times g \times V_{fluid}$$

$$m > \rho_{fluid} \times V_{fluid}$$

$$\frac{m}{\rho_{fluid}} > V_{fluid}$$

$$\frac{2.8 \times 10^6}{1028} > V_{fluid}$$

$$2723.735 > V_{fluid}$$

إذا فإن أي قيمة أصغر من 2723.7 لحجم السائل المزاح ستؤدي إلى غوص الغواصة فسنفرض $V = 2700 \text{ m}^3$.
وبالتأكيد يكون $V > 0$ ، ومنه:

$$F_b = 1028 \times 9.81 \times 2700$$

$$F_b = 27.228636 \times 10^6 \text{ (N)}$$

ومنه تكون محصلة القوى المؤثرة على الغواصة في حالة الغوص هي:

$$\sum F = -27.468 \times 10^6 + 27.228636 \times 10^6 = -0.239364 \times 10^6 \text{ (N)}$$

حساب التسارع:

$$-0.239364 \times 10^6 = 2.8 \times 10^6 \times a$$

$$a = \frac{-0.239364 \times 10^6}{2.8 \times 10^6} = -0.08548714 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

مما يؤدي إلى زيادة السرعة بزيادة الزمن حتى تبلغ سرعة حدية عندما تكون قوى المقاومة (ضغط الماء والاحتكاك) بأعظم قيمة وهي محصلة القوى ولكم تعاكسها في الاتجاه:

ومنه:

$$\sum F = 0$$

$$-W + F_b + F_d = 0$$

$$F_d = W - F_b$$

$$F_d = 0.239364 \times 10^6 \text{ (N)}$$

$$F_d = \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \times C_d \times A = 0.239364 \times 10^6 \text{ (N)}$$

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2 \times F_d}{\rho \times C_d \times A}}$$

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2 \times 0.239364 \times 10^6}{1028 \times 0.04 \times 2450.44227}}$$

$$v_{max} = 2.179694478121 \text{ (m/s)}$$

- الغوص الديناميكي (Dynamic Diving):

بفرض أن زاوية الغوص 10° ،

وسرعة الغواصة البدائية $v_0 = 0$ ،

وسرعتها النهائية $v_e = 37\text{km/h} = 10.27\text{m/s}$

وتحتاج الى تقريباً إلى $10 \sim$ ثواني لتصل إلى عمق 100 متر:

$$\sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{F}_b + \vec{F}_t + \vec{F}_d = m \times \vec{a}$$

$$W + F_b + F_t + F_d = m \times a$$

$$\sum F = -27.468 \times 10^6 + 27.468 \times 10^6 - F_t + 169,465.8 = 2.8 \times 10^6 \times (-a)$$

$$\sum F = -27.468 \times 10^6 + 27.468 \times 10^6 - F_t + 169,465.8 = 2.8 \times 10^6 \times (-1.027)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{10.27 - 0}{10 - 0} = 1.027 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

ومنه:

$$F_t = 3,045,065.8 \text{ (N)}$$

2- حالة الطفو:

- الغوص الساكن (Static Diving):

بفرض الغوص بدءاً من حالة السكون التام:

$$\sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{F}_b + \vec{F}_t + \vec{F}_d = m \times \vec{a}$$

$$-W + F_b + 0 + 0 = m \times a$$

$$-W + F_b = m \times a$$

حساب قوة الثقل:

$$W = m \times g$$

$$W = 2.8 \times 10^6 \times 9.81 = 27.468 \times 10^6 \text{ (N)}$$

حساب قوة الطفو:

$$F_b = \rho_{fluid} \times g \times V_{fluid}$$

نحتاج إلى حساب حجم السائل المزاح بحيث يكون وزن السفينة أكبر من قوة الطفو المؤثرة عليها كي تغوص:

$$W < F_b$$

$$m \times g < \rho_{fluid} \times g \times V_{fluid}$$

$$m < \rho_{fluid} \times V_{fluid}$$

$$\frac{m}{\rho_{fluid}} < V_{fluid}$$

$$\frac{2.8 \times 10^6}{1028} < V_{fluid}$$

$$2723.735 < V_{fluid}$$

إذا فإن أي قيمة أكبر من 2723.7 لحجم السائل المزاح ستؤدي إلى طفو الغواصة فسنفرض $V = 2750 \text{ m}^3$.

وبالتأكيد يكون $V > 0$ ، ومنه:

$$F_b = 1028 \times 9.81 \times 2750$$

$$F_b = 27.732870 \times 10^6 \text{ (N)}$$

ومنه تكون محصلة القوى المؤثرة على الغواصة في حالة الغوص هي:

$$\sum F = -27.468 \times 10^6 + 27.732870 \times 10^6 = 0.26487 \times 10^6 \text{ (N)}$$

حساب التسارع:

$$0.26487 \times 10^6 = 2.8 \times 10^6 \times a$$

$$a = \frac{0.26487 \times 10^6}{2.8 \times 10^6} = 0.09459643 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

مما يؤدي إلى زيادة السرعة بزيادة الزمن حتى تبلغ سرعة حدية عندما تكون قوى المقاومة (ضغط الماء والاحتكاك) بأعظم قيمة وهي محصلة القوى ولكم تعاكسها في الاتجاه:

ومنه:

$$\sum F = 0$$

$$-W + F_b + F_d = 0$$

$$F_d = W - F_b$$

$$F_d = 0.26487 \times 10^6 (N)$$

$$F_d = \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \times C_d \times A = 0.26487 \times 10^6 (N)$$

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2 \times F_d}{\rho \times C_d \times A}}$$

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2 \times 0.26487 \times 10^6}{1028 \times 0.04 \times 2450.44227}}$$

$$v_{max} = 2.292886688026 (m/s)$$

• الطفو الديناميكي (Dynamic Floating):

بفرض أنّ زاوية الغوص 10° ،

وسرعة الغواصة البدائية $V_0 = 0$ ،

وسرعتها النهائية $V_e = 37 \text{ km/h} = 10.27 \text{ m/s}$

فتحتاج الى تقريباً إلى $10 \sim$ ثواني لتصل إلى عمق 100 متر:

$$\sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{F}_b + \vec{F}_t + \vec{F}_d = m \times \vec{a}$$

$$W + F_b + F_t + F_d = m \times a$$

$$\sum F = -27.468 \times 10^6 + 27.468 \times 10^6 + F_t - 169,465.8 = 2.8 \times 10^6 \times (+a)$$

$$\sum F = -27.468 \times 10^6 + 27.468 \times 10^6 + F_t - 169,465.8 = 2.8 \times 10^6 \times (+1.027)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{10.27 - 0}{10 - 0} = 1.027 (m/s^2)$$

ومنه:

$$F_t = 3,045,065.8 (N)$$

3- حالة التحرك للأمام او الخلف:

بفرض أنّ سرعة الغواصة البدائية $v_0 = 0$ ،

وسرعتها النهائية $v_e = 37\text{km/h} = 10.27\text{m/s}$

$$\sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{F}_b + \vec{F}_t + \vec{F}_d = m \times \vec{a}$$

$$\sum F = -W + F_b + F_t - F_d = m \times a$$

$$\sum F = -27.468 \times 10^6 + 27.468 \times 10^6 + F_t - 169,465.8 = 2.8 \times 10^6 \times (+a)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{10.27 - 0}{10 - 0} = 1.027 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$\sum F = -27.468 \times 10^6 + 27.468 \times 10^6 + F_t - 168,465.8 = 2.8 \times 10^6 \times (+1.027)$$

$$F_t = 3,045,065.8 \text{ (N)}$$

المراجع

1- قوة الثقل:

- <https://en.wikipedia.org/wiki/Weight>

2- قوة الطفو:

- https://en.wikipedia.org/wiki/Archimedes%27_principle

3- قوة دفع المحرك:

- <https://s2.smu.edu/propulsion/Pages/thrustmain.htm>
- <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/thrust-force/>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Mass_flow_rate
- <https://physics.stackexchange.com/questions/505756/water-bottle-rocket-thrust-two-calculation-methods-not-matching>

4- قوى المقاومة:

- <https://s2.smu.edu/propulsion/Pages/dragmain.htm>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Drag_equation
- https://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient

5- معلومات الغواصة:

- https://en.wikipedia.org/wiki/Type_212CD_submarine
- <https://navalpost.com/how-deep-can-a-submarine-dive/>
- <https://www.naval-technology.com/projects/type-212cd-submarines-germany/?cf-view&cf-closed>
- <https://www.navalnews.com/naval-news/2023/12/tkms-offering-type-212cd-e-submarine-to-the-netherlands/>
- <https://gentleseas.blogspot.com/2017/12/the-tkms-type-212cd-mtu12v4000s-vs.html>

6- الصدم:

- كتاب الصف الحادي عشر

7- ضغط المياه:

- <https://en.wikipedia.org/wiki/Seawater>
- https://www.engineeringtoolbox.com/sea-water-properties-d_840.html

8- ضغط الهواء:

- https://en.wikipedia.org/wiki/Density_of_air
- <https://www.earthdata.nasa.gov/topics/atmosphere/atmospheric-pressure/air-mass-density>

9- مراجع عامة:

- <https://en.wikipedia.org/wiki/Submarine>
- <https://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/submarine.htm>
- (Submarine Drag Modelling and Hull Design - Nuffield Research Project).pdf **by** Alex Lascelles