مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (27) العدد (3) 2005
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol. (27) No (3) 2005

تصميم المخطط النظري لبدن السفينة وإنشاء منحنياته الهيدروستاتيكية باستخدام الحواسيب الإلكترونية

الدكتور معروف أحمد*

(قبل للنشر في 2005/10/31)

□ الملخّص □

يندرج هذا البحث ضمن قائمة الأعمال الحثيثة التي تهدف إعداد منهجيات متطورة لتنفيذ الحسابات الهندسية التصميمية باستخدام الحواسيب الإلكترونية. يتناول البحث أحد الموضوعات الهامة في مجال تطوير صناعة السفن، وهو يهدف إلى اختصار الزمن اللازم والجهد المبذول أثناء المراحل الأولى لتصميم السفينة من أجل الحصول على المخطط النظري وإنشاء منحنياته الهيدروستاتيكة التي تُشكّل نقطة الانطلاق لتنفيذ الحسابات التصميمية كافة المتعلّقة ببنية السفينة ومحطة القدرة الموجودة على متنها، وكذلك تنفيذ الحسابات التطبيقية الخاصة بتحميل السفينة والمحافظة على اتزانها وسلامة إبحارها. في البداية تم إعطاء فكرة عامة عن الطرق المتوفرة حالياً لتصميم المخطط النظري لبدن السفينة وإنشاء منحنياته الهيدروستاتيكية، وبعد ذلك تم إعداد منهجية جديدة ضمن هذا السياق، واستناداً إلى هذه المنهجية تم إعداد برنامج بلغة (Visual Basic) لتنفيذ الحسابات بواسطة الحواسيب الإلكترونية. يستطيع هذا البرنامج معالجة الحالات المتعلّقة بهذا الموضوع كافة، وهو يُعتبر وسيلة للقيام بالأعمال البحثية المختلفة لدراسة تأثير العوامل التصميمية والاستثمارية على الخصائص الستاتيكية والديناميكية للسفن وتطويرها في المستقبل.

* أستاذ مساعد في أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية – كلية الهندسة البحرية – حلب – سوريا.

مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (27) العدد (3) 2005
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol. (27) No (3) 2005

Designing a Theoretical Diagram of Hull Ship and Composing Its Hydrostatic Curves Using Computers

Dr. Marouf Ahmad*

(Accepted 31/10/2005)

□ ABSTRACT □

This research is an attempt to prepare advanced methods to execute design engineering calculations using computers. It seeks to shorten the time and effort needed during the early stages of a ship design in order to present a theoretical diagram and compose its hydrostatic curves, which form the starting point for the execution of all design calculations related to structure of the ship and the energy station on board as well as for the practical calculations related to loading the ship and maintaining its balance and safety in navigation.

At the beginning a general idea is given about the methods currently available regarding designing the theoretical diagram of hull ship and composing its hydrostatic curves, then a new method is prepared. A visual basic program, based on that method, is prepared to execute calculations using computers. This program is able to deal with all cases related to this topic. It can also be used in future studies aiming to develop ship design and hydrostatic characteristics.

* **Associate Prof, Assad Academy For Military Engineering, Aleppo- Syria.**

مقدّمة:

إن تطوير صناعة السفن يتطلب إعداد منهجيات متطورة لإجراء الحسابات الأساسية المتعددة والضخمة، التي تُنفذ عادة في المراحل الأولى لتصميم السفينة، والتي تقوم بمعالجة حالات عديدة ومتنوعة، وذلك بهدف الوصول إلى الحل الأمثل الذي يُلبي متطلبات التصميم بأقل كلفة ممكنة وبأقصر وقت.

إن حجم الحسابات التي تُنفذ في المراحل الأولى لتصميم السفينة كبيرٌ جداً، مما يتطلب إعداد المنهجيات والطرق القادرة على إجرائا بجهدٍ قليل ووقتٍ قصير، وهذا بدوره يستدعي أن تُنفذ هذه الحسابات من خلال برامج حاسوبية متطورة ومرنة، بحيث تستطيع الاستفادة من الخبرات والأعمال المنفذة ضمن هذا المجال وتكون قادرة على تقديم الحلول المناسبة في أقصر وقت.

من أهم الموضوعات معالجتها في المراحل الأولى لتصميم السفينة التي تُعتبر منطلقاً لبنائها، هي تصميم المخطط النظري لبدنها وإنشاء منحنياته الهيدروستاتيكية.

أهمية البحث وأهدافه:

يتطرق البحث إلى معالجةِ واحدةٍ من أهم المسائل التي يتم التعرّض إليها في المراحل الأولى لتصميم السفينة، والتي تتمثل في تصميم المخطط النظري لبدن السفينة وإنشاء منحنياته الهيدروستاتيكية.

إن أهمية هذا البحث كما نرى تكمن في النقطتين الآتيتين:

1- يُعالج البحث واحدة من أهم المسائل الحديثة والمستقبلية المتعلّقة بالمراحل الأولى لتصميم السفن، والتي تنطلق من تصميم المخطط النظري لبدن السفينة وإنشاء منحنياته الهيدروستاتيكية، حيث يتضمن البحث إعداد المنهجيات الحسابية المتعلّقة بهذه المسالة من جوانبها كافة، كما أنه يتطرق أيضاً من خلال ذلك إلى دراسة تأثير العوامل التصميمية والاستثمارية المختلفة على الخصائص الستاتيكية والديناميكية للسفن؛

2- يتضمن البحث برنامجاً حاسوبياً مرناً بلغة (Visual Basic) تم بناؤه على أساس المنهجيات المذكورة أعلاه لتنفيذ الحسابات التصميمية والقيام بالأعمال البحثية المتعلّقة بتصميم المخطط النظري للسفينة وإنشاء منحنياته الهيدروستاتيكية.

بذلك تنحصر أهداف هذا البحث بما يلي:

1- إعداد طرق منهجية لتنفيذ الحسابات الأساسية في المراحل الأولى لتصميم السفن واستكماله لاحقاً ليغطي المراحل النهائية؛

2- إعداد برنامج حاسوبي لتنفيذ الحسابات كافة وفق المنهجيات التي تم إعدادها؛

3- دراسة تأثير العوامل التصميمية المختلفة على الخصائص الإبحارية والاستثمارية للسفن؛

4- إعداد مشروع مرجع إلكتروني في المسائل المتعلّقة ببناء وتصميم السفن واستكماله فيما بعد ليصبح مرجعاً شاملاً ضمن هذا السياق.

طريقة البحث:

المخطط النظري عبارة عن تمثيل بياني للسطح النظري لبدن السفينة على ثلاثة مستويات إسقاط رئيسة متعامدة فيما بينها، بحيث يُوضحُ عليها مساقط الخطوط الناتجة عن قطع السطح النظري للبدن بمستويات موازية لمستويات الإسقاط الرئيسة.

مستويات الإسقاط النظرية الرئيسة المعتمدة في المخطط النظري هي:

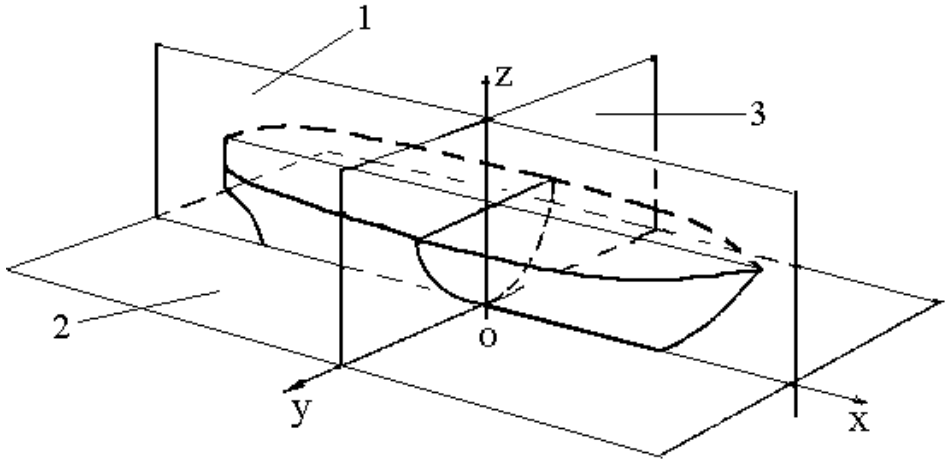
- المستوي الطولي (مستوي التناظر): وهو عبارة عن المستوي الطولي لتناظر السفينة، يقسم بدنها طولياً إلى جزأين متناظرين: جانب أيمن وجانب أيسر. في ظروف الإبحار العادية يكون هذا المستوي شاقولياً. تُسمى الخطوط الناتجة عن قطع السطح النظري للبدن بمستويات موازية للمستوي الطولي "باتوكسات" (خطوط قطاعية).
- المستوي المتوسط: هو المستوي العرضي المتعامد مع المستوي الطولي والموازي لمستويات الأضلاع النظرية (التصميمية)، والمار من منتصف الطول الحسابي للسفينة، ويقسم بدنها إلى قسمين غير متناظرين: قسم المقدمة وقسم المؤخرة. يرمز للمستوي المتوسط بالرمز ⊗ ويُسمى أيضاً "مستوي الضلع المتوسط" أو "المستوي القطاعي المنصف". تُسمى خطوط تقاطع السطح النظري لبدن السفينة مع المستويات الموازية للمستوي المتوسط "بالأضلاع النظرية" (الخطوط القطاعية العرضية).
- المستوي الأساسي: هو المستوي المتعامد مع كل من المستوي الطولي ومستوي الضلع المتوسط والمار من نقطة تقاطعهما مع السطح النظري للبدن في منطقة القعر. تُسمى خطوط تقاطع السطح النظري للبدن مع المستويات الموازية للمستوي الأساسي "خطوط الماء النظرية".

يُسمى خط تقاطع المستوي الأساسي مع المستوي الطولي بخط الطول الأساسي، ويُسمى خط تقاطع المستوي الأساسي مع المستوي المتوسط بخط العرض الأساسي. يُعتبر هذان الخطان منطلقاً لجميع قياسات بدن السفينة مثل: الغاطس، ارتفاع الجانب، ..... الخ [1].

تُعتبر المستويات الرئيسة للمخطط النظري مستويات الإحداثيات الأساسية وترتبط مع السفينة بجملة الإحداثيات OXYZ على الشكل الآتي:

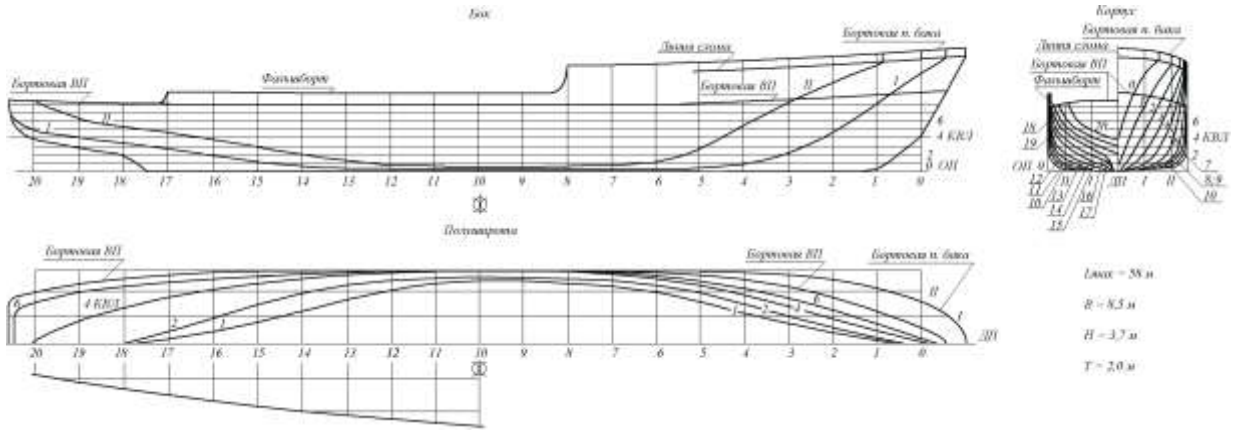
- المبدأ في النقطة O: نقطة تقاطع المستوي الطولي مع مستوي الضلع المتوسط؛
- المحور OX: هو خط الطولي الأساسي (الاتجاه الموجب نحو مقدمة السفينة)؛
- المحور OY: هو خط العرض الأساسي (الاتجاه الموجب نحو الجانب الأيمن)؛
- المحور OZ: هو خط تقاطع المستوي الطولي مع مستوي الضلع المتوسط (الاتجاه الموجب نحو السطح).

وهكذا فإن المستوي الأساسي هو عبارة عن المستوي XOY، والمستوي المتوسط هو المستوي YOZ، والمستوي الطولي هو المستوي ZOX. كما يتضح ذلك من الشكل (1).



الشكل (1) المستويات الأساسية للمخطط النظري

تُسمى مساقط الباتوكسات (الخطوط القطاعية) وخطوط الماء النظرية والأضلاع النظرية على المستوي الطولي "بمساقط الجانب" وعلى المستوي الأساسي "بمساقط نصف العرض" وعلى المستوي المتوسط "بمساقط البدن"، على التوالي، كما يتضح ذلك من الشكل (2).



الشكل (2) المخطط النظري لبدن السفينة

يتشكل من تقاطع المستوي الطولي مع هيكل السفينة الخطوط التالية: خط القرينة (في الأسفل)، وخط المقدمة (الجؤجؤ)، وخط المؤخرة (الكوثل)، وخط سطح (ظهر) السفينة في الأعلى. خط الماء النظري الموافق للحمولة الطبيعية للسفينة يُسمى "بخط الماء التصميمي" (KWL). الشاقولان الماران من نقطة تقاطع خط الماء التصميمي مع خطي المقدمة والمؤخرة يُسميان على التوالي عمود المقدمة وعمود المؤخرة. المسافة الفاصلة بين هذين العمودين تُسمى بالطول الحسابي (النظري) للسفينة (L). يُقسم الطول النظري إلى 20 قطعة مستقيمة متساوية الطول يفصل بينها 21 ضلعاً نظرياً تتوضع على مسافات متساوية بين بعضها بعضٍ ($\frac{L}{20}$). تُسمى هذه المسافة "بالشبحة" النظرية.

تُرقم الأضلاع النظرية بحيث يُعطى الرقم (0) للضلع النظري المنطبق مع عمود المقدمة والرقم (20) للضلع النظري المنطبق مع عمود المؤخرة، والرقم (10) للضلع المنطبق مع المستوي المتوسط. وتُرقم خطوط الماء النظرية

بدءاً من الصفر من الأسفل إلى الأعلى، أما "الباتوكسات" فتُرقم بدءاً من المستوي المتوسط باتجاه الأجناب، بحيث ينطبق الباتوكس رقم (0) مع المستوي الطولي.

إحداثيات نقاط السطح النظري للسفينة المقاسة بشكل موازٍ للمحور OY تُسمى "تراتيب" المخطط النظري.

إن تصميم المخطط النظري يعني إعطاء بدن السفينة الشكل المناسب الذي يُساعدها على تنفيذ مهامها حسب الوظيفة المحددة لها بأفضل ما يُمكن.

إنشاء المخطط النظري يتضمن مرحلتين أساسيتين [2]:

1-المرحلة الأولى: تكوين المخطط النظري، أي الحصول (بإحدى الطرق الممكنة) على تراتيب المخطط النظري التي تُلبي متطلبات المعطيات الأولية للتصميم؛

2-المرحلة الثانية: رسم المخطط النظري بيانياً، استناداً إلى التراتيب التي تم الحصول عليها في المرحلة الأولى.

إن تسلسل إنشاء المخطط النظري لبدن السفينة يتعلق بالطريقة التي يتم اختيارها لهذا الغرض. لتصميم المخطط النظري يُمكن أن تُستخدم عدة أساليب أو طرق، وذلك حسب مراحل إعداد المخططات التصميمية للسفينة وحجم المعطيات الأولية المتوفرة. إن أكثر الطرق انتشاراً تستند إلى إدخال التغيرات المطلوبة في انحناءات هيكل (بدن) السفينة المعتمدة كطراز، والتي تكون قريبة جداً بمواصفاتها من السفينة المراد تصميمها. في الوقت الراهن تتوفر في مكاتب تصميم السفن وفي المراجع المختلفة كميات كبيرة من المعلومات والمعطيات الأولية عن أبدان السفن من الأنواع والقياسات والحجوم كافة، بحيث يُمكن في الأحوال كافة أن نجد سفينة واحدة على الأقل (أو عدة سفن) تكون قريبة في معطياتها الأولية المتعلقة بالبدن، من السفينة المراد تصميمها. في هذه الحالة (وعند توفر المعطيات الأولية عن السفينة الطراز) فإنه لإنشاء المخطط النظري للسفينة المراد تصميمها يكفي أن نقوم بإدخال بعض التعديلات المتعلقة بالفروقات بين المخططين النظريين لكلٍ من السفينة الطراز والسفينة المراد تصميمها. إن هذه الطريقة هي الأكثر انتشاراً في التطبيقات العملية المستخدمة في مكاتب تصميم السفن، لأنها تُعطي نتائج جيدة بشكل عام. تنحصر المسألة في هذه الحالة بدراسة المخططات النظرية للسفن التي تصلح كطراز، ومن ثم اختيار الحالة الأقرب بمواصفات البدن من السفينة المراد تصميمها.

إن أبسط طرق إعادة بناء المخطط النظري للسفينة المعتمدة كطراز هي "عملية تحويله" بحيث يتعدل شكل البدن، إما بالاستطالة (امتطاط البدن)، أو بالانضغاط (انكماش البدن) باتجاه محاور الإحداثيات الأساسية، ونتيجة لذلك تتغير النسب بين الأبعاد الرئيسة، بينما تبقى معاملات الشكل النظرية محافظة على قيمها [3].

أثناء التصميم العملي (الفعلي) للمخطط النظري وفق هذه الطريقة يتم الاعتماد على تحقيق الشروط المختلفة لنظرية التشابه بين أبدان كلٍ من السفينة الطراز والسفينة المراد تصميمها.

إن الحالة الأكثر عمومية (انتشاراً) هي تحقيق ما يُسمى "بالتشابه الوظيفي"، عندما تكون جميع إحداثيات (سينات، عينات، ارتفاعات) بدن السفينة المراد تصميمها توابع لإحداثيات بدن السفينة المعتمدة كطراز على التوالي، أي: $x = f_1(x_0);\ y = f_2(y_0);\ z = f_3(z_0)$. الدليل (0) يُعبر هنا عن إحداثيات السفينة الطراز.

باختيار محدد للعلاقات السابقة يُمكن تغيير شكل بدن السفينة المراد تصميمها (بالمقارنة مع شكل بدن السفينة الطراز) بالاتجاه المطلوب.

يُعتبر التشابه المحول (المعدل) حالة خاصة من حالات التشابه الوظيفي، حيث يتحقق أثناء ذلك تناسب بسيط (خطي) بين إحداثيات (سينات، عينات، ارتفاعات) بدن السفينة المراد تصميمها وبدن السفينة الطراز:

$$x = lx_0;\ \ y = by_{0;}\ \ z = tz_0 \qquad (1)$$

حيث: l,b,t – معاملات التناسب، $l \neq b \neq t$.

في حالةٍ خاصةٍ للتشابه المحول يُمكن أن يتحقق $l = b = t$، حيث نحصل في هذه الحالة على ما يُسمى بالتشابه الهندسي.

أثناء التشابه التحويلي يتم الحصول على الأبعاد الرئيسة وبعض العناصر الأساسية للسفينة المراد تصميمها من خلال عناصر السفينة الطراز على الشكل الآتي:

– طول السفينة	$L = lL_0$
– عرض السفينة	$B = bB_0$
– ارتفاع الجانب	$H = tH_0$
– غاطس السفينة	$T = tT_0$
– بعد مركز الطفو عن المستوي الأساسي	$Z_c = tZ_{c0}$
– بعد مركز الطفو عن الضلع المتوسط	$X_c = bX_{c0}$
– مساحة سطح خط الماء	$S = lbS_0$
– مساحة الضلع	$\omega = bt\omega_0$
– الإزاحة الحجمية	$V = lbtV_0$

عند استخدام طريقة التشابه السابقة يجب تحديد اتجاه القيم التي يتم حسابها. فتكون نسبة القيم الخطية لأحد الاتجاهات قيمة عديمة الواحدة (لا بعدية)، ونسبة قيم الاتجاه المختلف قيمة لها واحدة قياس تتعلق بالمقاييس (l,b,t).

بهذا الشكل نجد أنه عند استخدام طريقة التشابه المحول تتم المحافظة على الشكل العام لبدن السفينة المراد تصميمها بالمقارنة مع السفينة الطراز، أي أن معاملات امتلاء البدن، وتوزيع المساحات والحجوم بالطول والعرض والارتفاع تبقى ثابتة دون تغيير: $\varphi = \varphi_0\ ;\ \beta = \beta_0\ :\ \delta = \delta_0$.

بذلك نجد أنه إذا استطعنا أن نختار مخططاً نظرياً مناسباً "لسفينة– طراز" تتمتع بمواصفات استثمارية جيدة، فإنه يُمكن بالاعتماد على هذا المخطط وباستخدام طريقة التشابه التحويلي، أن نحصل على مخطط نظري للسفينة المراد تصميمها، وذلك باستخدام العلاقات الآتية:

- تُحدد "عينات" (تراتيب) أي خط ماx في المخطط النظري للسفينة المراد تصميمها بالعلاقة الآتية:
-

$$y = y_0 \frac{B}{B_0} \qquad (2)$$

حيث:

y – عينات (تراتيب) المخطط النظري للسفينة المراد تصميمها؛

y_0 – عينات (تراتيب) المخطط النظري للسفينة الطراز؛

B – العرض الأعظمي على خط الماء التصميمي للسفينة المراد تصميمها؛

B_0 – العرض الأعظمي على خط الماء التصميمي للسفينة الطراز.

تُدون نتائج حسابات "عينات" خطوط الماء في المخطط النظري للسفينة المراد تصميمها في جداول خاصة فنحصل بذلك على إحداثيات "مسقط الجانب"، الجدول (1).

– تُحدد سينات وارتفاعات النقاط الموافقة للعينات بطريقة مشابهة لطريقة حساب العينات، أي:

$$x = x_0 \frac{L}{L_0} \qquad (3)$$

$$z = z_0 \frac{H}{H_0}; \text{or } z = z_0 \frac{T}{T_0}, \qquad (4)$$

حيث:

$x_0; z_0$ – سينات وارتفاعات المخطط النظري للسفينة الطراز؛

$L_0; H_0; T_0$ – طول وارتفاع الجانب وغاطس السفينة الطراز على التوالي؛

$L; H; T$ – طول وارتفاع الجانب وغاطس السفينة المراد تصميمها على التوالي.

تُدون نتائج هذه الحسابات أيضاً ضمن جداول خاصة، فنحصل بذلك على إحداثيات "مسقط نصف العرض"، الجدول (2)، وإحداثيات "مسقط البدن"، الجدول (3).

– تُحدد المسافة بين خطوط الماء بالعلاقة الآتية:

$$\Delta T = t \cdot \Delta T_0 = \frac{T}{T_0} \cdot \Delta T_0$$

– تُحدد المسافة بين الأضلاع النظرية بالعلاقة الآتية:

$$\Delta L = l \cdot \Delta L_0 = \frac{L}{L_0} \cdot \Delta L_0$$

– تُحدد المسافة بين "الباتوكسات" بالعلاقة التالية:

$$\Delta B = b \cdot \Delta B_0 = \frac{B}{B_0} \cdot \Delta B_0$$

بطريقة مشابهة يتم تنفيذ الحسابات لتحديد تراتيب المخطط النظري بالنسبة لبقية الباتوكسات (II,III) لخط جانب السفينة.

وبطريقة مشابهة أيضاً يتم تنفيذ الحسابات لتحديد تراتيب المخطط النظري بالنسبة لبقية خطوط الماء من الخط (2) وحتى الخط الأخير. للحصول على دقة مقبولة يجب أن يتراوح عدد خطوط الماء النظرية ضمن المجال (15-30) خط.

الجدول (1) إحداثيات "مسقط الجانب" في المخططات النظرية لكلٍ من السفينة الطراز والسفينة المراد تصميمها لأحد خطوط الماء النظرية.

الجدول رقم (1)

الباتوكس رقم I	المستوي الطولي

الترتيب y, mm						الترتيب y, mm					
السفينة المراد تصميمها		السفينة– الطراز		السفينة المراد تصميمها				السفينة– الطراز		السفينة المراد تصميمها	
y = 1078		y_0=1100		y = 0				y_0=0		y = 0	
الارتفاع z, mm		الفاصلة x, mm		الارتفاع z, mm				الفاصلة x, mm		الارتفاع z, mm	
السفينة المراد تصميمها	السفينة – الطراز	السفينة المراد تصميمها	السفينة– الطراز	السفينة المراد تصميمها	السفينة – الطراز	مسلسل	رقم الضلع النظري	السفينة المراد تصميمها	السفينة– الطراز	السفينة المراد تصميمها	السفينة– الطراز	رقم الضلع النظري	مسلسل
z	z_0	x	x_0	z	z_0			x	x_0	x	x_0		
8286	8370	38573	39360	8245	8500	1	-	40719	41550	8245	8500	-	1
8032	8113	38220	39000	2813	2900	2	0	38220	39000	2813	2900	0	2
4683	4730	34398	35100	776	800	3	1	37240	38000	776	800	-	3
2059	2080	30576	31200	0	0	4	2	36309	37050	0	0	-	4
835	843	26754	27300	0	0	5	3	34398	35100	0	0	1	5
376	380	22932	23400	0	0	6	4	30576	31200	0	0	2	6
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1079	1090	-22932	-23400	0	0	18	16	-22930	-23400	0	0	16	20
1416	1430	-26754	-27300	0	0	19	17	-26754	-27300	0	0	17	21
1693	1710	-30576	-31200	0	0	20	18	-30576	-31200	0	0	18	22
1898	1917	-34398	-35100	1792	1810	21	19	-34398	-35100	1792	1810	19	23
3176	3208	-38220	-39000	2574	2600	23	20	-38220	-39000	2574	2600	20	24

عملية تصميم المخطط النظري للسفينة المراد تصميمها تُنفذ وفق التسلسل الآتي:

1- إعداد جداول إحداثيات مساقط "الجانب والبدن ونصف العرض" من المخطط النظري للسفينة الطراز؛

2- حساب معاملات التناسب (l,b,t) بين إحداثيات المخطط النظري للسفينة المراد تصميمها والسفينة الطراز؛

3- إعداد جداول إحداثيات مساقط "الجانب والبدن ونصف العرض" في المخطط النظري للسفينة المراد تصميمها؛

4- إنشاء (رسم) المخطط النظري للسفينة المراد تصميمها استناداً إلى النتائج التي تم الحصول عليها.

لتنفيذ هذه المراحل (باستثناء المرحلة الأولى) تم إعداد برنامج حاسوبي بلغة (Visual Basic) وباستخدام الجداول الإلكترونية (Excel). بعد ذلك تم تجريب البرنامج، حيث قمنا بحل عدة أمثلة مختلفة، ولدى مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج مع معطيات فعلية وحقيقية تبين أن مصداقية هذه النتائج عالية والخطأ فيها لا يتجاوز [4]0.2% . نتائج أحد الأمثلة المحلولة موضحة في الجداول (1) و(2) و(3) وعلى الشكل (2).

الجدول (2) إحداثيات "مسقط نصف العرض" في المخططات النظرية لكلٍ من السفينة الطراز والسفينة المراد تصميمها.

الجدول رقم (2)

خط الماء النظري رقم 1	خط الجانب
الارتفاع z, mm	

السفينة المراد تصميمها		السفينة– الطراز				الترتيب y, mm		الفاصلة x, mm			
z = 252 mm		z_0=260 mm									
الترتيب y, mm		الفاصلة x, mm									
السفينة المراد تصميمها	السفينة– الطراز	السفينة المراد تصميمها	السفينة– الطراز	رقم الضلع النظري	مسلسل	السفينة المراد تصميمها	السفينة– الطراز	رقم الضلع النظري	مسلسل
y	y_0	x	x_0			y	y_0	x	x_0		
0	0	36652	37400	-	1	0	0	40719	41550	-	1
98	100	34398	35100	1	2	49	50	40719	41550	-	2
332	340	30576	31200	2	3	317	325	40543	41370	-	3
585	600	26754	27300	3	4	1199	1230	38220	39000	0	4
878	900	22932	23400	4	5	2399	2460	34398	35100	1	5
1160	1190	19110	19500	5	6	3169	3250	30576	31200	2	6
1346	1380	15288	15600	6	7	3705	3800	26754	27300	3	7
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
302	310	-30576	-31200	18	19	4261	4370	-30576	-31200	18	22
244	250	-32046	-32700	-	20	4144	4250	-34398	-35100	19	23
0	0	-32046	-32700	-	21	3998	4100	-38220	-39000	20	24

استناداً إلى نتائج الحسابات السابقة نقوم بإنشاء (رسم) المخطط النظري للسفينة المراد تصميمها، إما يدوياً أو باستخدام البرنامج الحاسوبي الذي تم إعداده في هذا البحث، الشكل (2).

عند القيام بحل العديد من المسائل التطبيقية المتعلقة بتحميل السفينة والمحافظة على اتزانها نحتاج إلى تحديد عناصر الحجم الكتيم المغمور في الماء من بدن السفينة عند توضعها من دون ميلان طولي وفق غواطس مختلفة. يُمكن حل هذه المسألة باستخدام منحنيات عناصر المخطط النظري والتي تُسمى "المنحنيات الهيدروستاتيكية" [4]. في هذا البحث تم إعداد منهجية خاصة لإنشاء هذه المنحنيات استناداً إلى المخطط النظري للسفينة، كما تم تحويل هذه المنهجية إلى برنامج حاسوبي يقوم بحل المسائل المتعلقة بهذا الموضوع آلياً كافة.

الجدول (3) إحداثيات "مسقط البدن" (الهيكل) في المخططات النظرية لكلٍ من السفينة الطراز والسفينة المراد تصميمها.

الجدول رقم (3)

الضلع النظري رقم1 №			الضلع النظري رقم 0 №		
الفاصلة x, mm			الفاصلة x, mm		
السفينة المراد تصميمها	السفينة– الطراز		السفينة المراد تصميمها	السفينة– الطراز	

	x_0= 39000		x = 38220			x_0=35100		x = 34398	
	الارتفاع z, mm		الترتيبy, mm			الارتفاع z, mm		الترتيبy, mm	
مسلسل	السفينة– الطراز	السفينة المراد تصميمها	السفينة– الطراز	السفينة المراد تصميمها	مسلسل	السفينة– الطراز	السفينة المراد تصميمها	السفينة– الطراز	السفينة المراد تصميمها
	z_0	z	y_0	y		z_0	z	y_0	y
1	2600	2574	0	0	1	0	0	0	0
2	3120	3089	20	20	2	260	257	100	98
3	3640	3604	70	68	3	520	515	190	185
4	4160	4118	130	127	4	780	772	250	244
5	4680	4633	200	195	.	.	.	.	.
6	5200	5148	280	273	.	.	.	.	.
7	5720	5663	380	371	.	.	.	.	.
8	6240	6178	480	468	16	5200	5148	1230	1199
9	6760	6692	630	614	17	5720	5663	1390	1355
10	7280	7207	800	780	18	6240	6178	1550	1511
11	7800	7722	980	956	19	6760	6692	1760	1716
12	8370	8286	1230	1199	20	7280	7207	2000	1950
13	8370	8286	0	0	21	7800	7722	2280	2223
					22	8080	7999	2460	2399
					23	8180	8098	0	0

يُمكن تقسيم عناصر الحجم الكتيم المغمور في الماء من بدن السفينة، كما يتضح من الشكل (3)، إلى ثلاث مجموعات رئيسة [5].

1- عناصر مساحة سطح خط الماء S وإحداثيات المحل الهندسي لهذه المساحة (x_f, y_f)، وعزوم عطالة هذه المساحة بالنسبة للمحور الطولي الرئيس (I_x) (I_{x_f}) وللمحور العرضي (I_y) (I_{y_f})؛

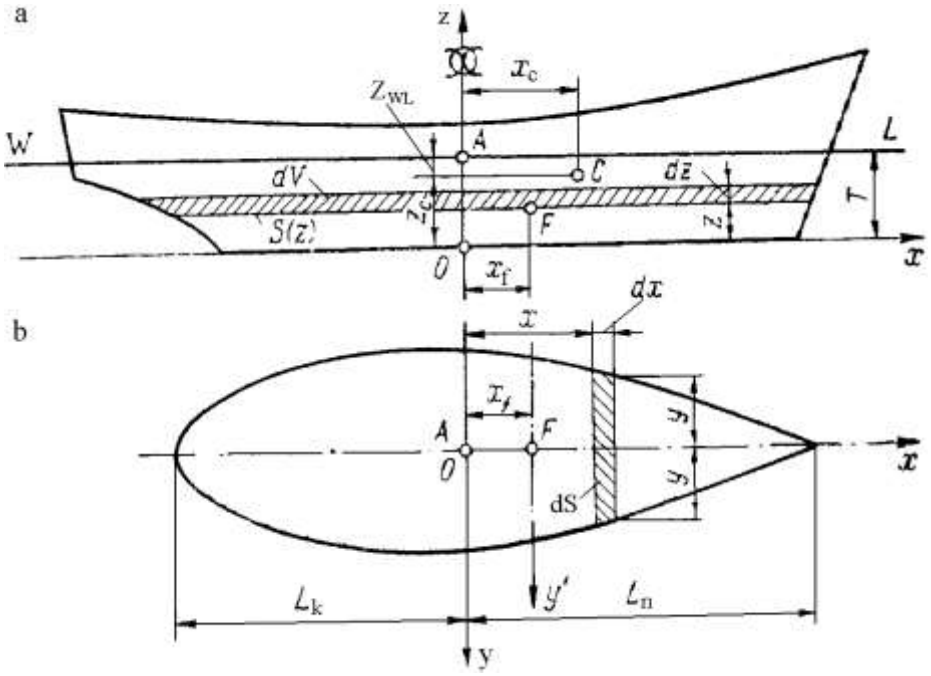
2- عناصر المساحة الشاقولية المغمورة في الماء (والمحددة بأحد الأضلاع النظرية) ω وإحداثيات محلها الهندسي (y_ω, z_ω)؛

3- عناصر الحجم الكتيم المغمور في الماء V وإحداثيات محله الهندسي (مركز الحجم) (x_c, y_c, z_c).

في الحالة التي تتوضع فيها السفينة من دون ميلانات طولية أو عرضية يتحقق ما يلي:

$$(y_c = 0\ ,\ y_f = 0\ ,\ z_f = T)$$

جميع هذه العناصر تُعتبر توابع لغاطس السفينة T، ولتحديدها نستخدم عادة المخطط النظري للسفينة.



الشكل (3) عناصر الحجم الكتيم المغمور في الماء من بدن السفينة

نوضح فيما يلي كيفية تحديد عناصر الحجم الكتيم المغمورة في الماء من بدن السفينة عند توضعها من دون ميلانات (عرضية أو طولية) وبغواطس مختلفة، وذلك باستخدام المخطط النظري للسفينة.

أولاً: عناصر مساحة سطح خط الماء:

لتحديد عناصر المساحة العنصرية ds من سطح خط الماء والمحصورة بين ضلعين نظريين تفصل بينهما مسافة قصيرة جداً مقدارها dx (في هذه الحالة إحداثيات الضلعين هي: $x, x+dx$)، نستخدم مسقط "نصف العرض" من المخطط النظري الموافق لخط الماء المدروس، كما يتضح من الشكل (3). بالنسبة لهذه المساحة العنصرية يُمكن أن نكتب العلاقات الآتية:

$$ds = 2ydx \qquad (5)$$

$$dm = xds = 2xyds \qquad (6)$$

$$dI_y = x^2 ds = 2x^2 ydx \qquad (7)$$

$$dI_x = \frac{(2y)^3 dx}{12} = \frac{2}{3} y^3 dx \qquad (8)$$

في هذه العلاقات التابع $y(x)$ هو ترتيب خط الماء (نصف عرض المساحة ds).

بمكاملة العلاقات السابقة على كامل طول السفينة من ($x_k = -L_k$ إلى $x_n = L_n$) نحصل على العلاقات التي يُمكن بواسطتها تحديد عناصر كامل مساحة سطح خط الماء:

$$S = \int_{-L_ê}^{L_n} y(x)dx, \qquad (9)$$

$$m_y = 2\int_{-L_{\hat{e}}}^{L_n} xy(x)dx, \qquad (10)$$

$$I_y = 2\int_{-L_{\hat{e}}}^{L_n} x^2 y(x)dx, \qquad (11)$$

$$I_x = \frac{2}{3}\int_{-L_{\hat{e}}}^{L_n} y^3(x)dx, \qquad (12)$$

$$x_f = \frac{m_y}{S} \qquad (13)$$

إن عزم عطالة سطح خط الماء I_x يُعتبر عزماً مركزياً، أي $I_x = I_{xf}$، أما العزم I_y فلا يُعتبر عزماً مركزياً لأن المحور المركزي (المار بمركز المساحة S) منحرف (مزاح) نحو الخلف لمسافة مقدارها x_f، لذلك فإن عزم العطالة المركزي I_{yf} يُحدد بالعلاقة الآتية:

$$I_{yf} = I_y - s \cdot x_f^2 \qquad (14)$$

حيث: x_f^2 – مربع بعدالمحور العرضي المركزي عن المحور العرضي الأساسي (مربع فاصلة مركز مساحة سطح خط الماء S).

ثانياً: عناصر الحجم الكتيم المغمور في الماء:

لتحديد الحجم الكتيم المغمور في الماء V وإحداثيات محله الهندسي x_c, z_c نحدد أولاً حجماً عنصرياً dv محصوراً بين سطحين نظريين للماء تفصل بينهما مسافة قصيرة جداً dz، كما يتضح ذلك من الشكل (3). تُحدد قيمة الحجم الصغير dv وعزومه الستاتيكية dM_{xy} , dM_{yz} بالنسبة للمستوي المتوسط YOZ والمستوي الأساسي XOY على التوالي بالعلاقات الآتية:

$$\left.\begin{aligned} dv &= Sdz, \\ dM_{yz} &= x_f dv = Sx_f dz = m_y dz, \\ dM_{xy} &= zdv = Szdz, \end{aligned}\right\} \qquad (15)$$

حيث:

z – ارتفاع مركز الحجم العنصري dv فوق المستوي الأساسي.

بمكاملة العلاقة السابقة (15) ضمن المجال من $(z = 0)$ إلى $(z = T)$ نحصل على:

$$V = \int_0^T S(z)dz, \qquad (16)$$

$$M_{yz} = \int_0^T m_y(z)dz, \qquad (17)$$

$$M_{xy} = \int_0^T S(z) z dz, \qquad (18)$$

$$x_c = \frac{M_{yz}}{V}, \qquad (19)$$

$$z_c = \frac{M_{xy}}{V}. \qquad (20)$$

إذا وضعنا في العلاقات السابقة (20 - 16) الحد العلوي للتكامل قيمة متغيرة (بدلاً من T)، فإننا بذلك نحصل على العلاقات الآتية: $x_c(T); z_c(T); V(T); M_{yz}(T); M_{xy}(T)$ ، وذلك للحالة $\psi = \theta = 0$.

من العلاقات السابقة يتضح أن تحديد قيم كلٍ من $V; x_x; z_c$ ، أو تحديد العلاقات $x_c(T); z_c(T); V(T)$ يتطلب معرفة المساحة S و m_y (أو x_f) لكلٍ من خطوط الماء (الجارية) ضمن المجال من 0 إلى T. لذلك من المفضل وبشكل مسبق إيجاد (تحديد) العلاقات $x_f(T)$ و $S(T)$. أما بالنسبة لحل المسائل المتعلقة باتزان السفينة، فإنه من الضروري إيجاد (تحديد) العلاقات: $I_y(T)$ و $I_x(T)$.

بالإضافة إلى العلاقات السابقة التي تم الحصول عليها لتحديد قيم كلٍ من $V; M_{yz}; M_{xy}$ ، من الممكن أيضاً الحصول على علاقات أخرى، وذلك بتغيير المتحول الذي يتم التكامل بموجبه. فمثلاً، بدلاً من إجراء التكامل وفق المتحول z (بالارتفاع) يُمكن أن يتم التكامل وفق المتحول x (بالطول)، أو وفق المتحول y بالعرض [6].

من عيوب العلاقات التي نحصل عليها في النوعين الأخيرين من التكاملات هو عدم قدرتها على تحديد العلاقة التي تربط بين عناصر الحجم الكتيم المغمور في الماء ، وغاطس السفينة T، فهي تقوم بتحديد القيم النهائية لهذه العناصر فقط.

كما يتضح مما تقدم فإن تحديد عناصر الحجم الكتيم المغمور في الماء كافة تنحصر في تحديد بعض التكاملات المحدودة لمجموعة من العلاقات الرياضية المعطاة بشكل بياني في منحنيات المخطط النظري لبدن السفينة. تُحدد هذه التكاملات كقاعدة عامة بالطرق التقريبية، وأكثر هذه الطرق استخداماً هي قاعدة شبه المنحرف (طريقة سمسون).

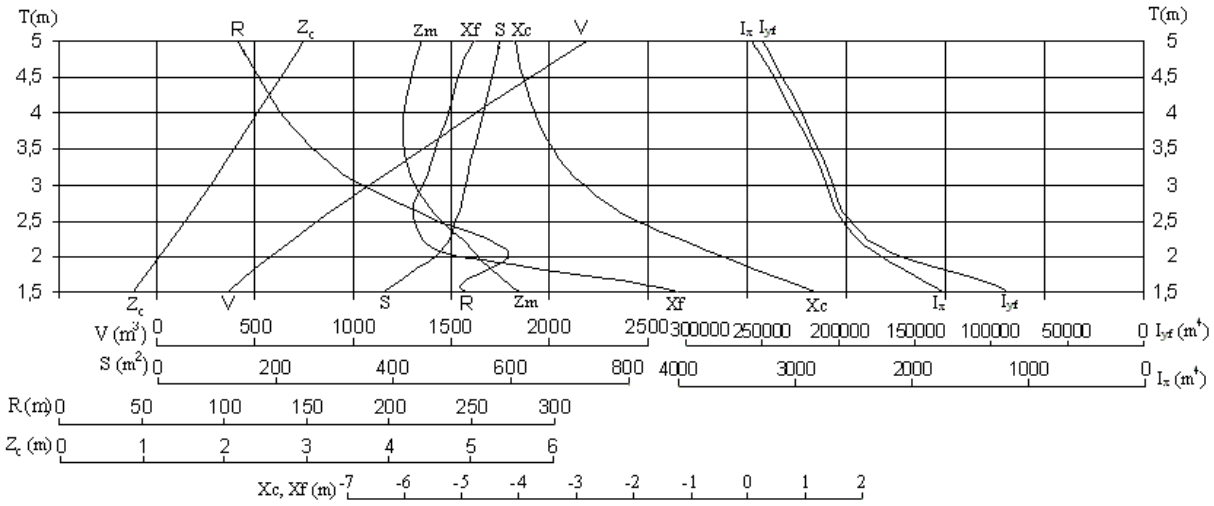
تتلخص قاعدة شبه المنحرف لحل التكاملات المحدودة في أنها تستبدل المنحني الانسيابي الذي يحد المساحة التي تجري مكاملتها (حسابها) بخط منكسر، ومن ثم جمع المساحات الفرعية التي تكون كلٌ منها على شكل شبه منحرف. يتم تحقيق الدقة المطلوبة في تنفيذ حسابات عناصر الحجم الكتيم المغمور في الماء (0.3%) وذلك بتقسيم هذا الحجم بالطول إلى 20 قطاع نظري (بواسطة 21 ضلع نظري)، وتقسيمه بالارتفاع كحد أدنى إلى 10 شرائح (بواسطة 11 خط ماء نظري)، مع الحرص على أخذ القراءات من مساقط المخطط النظري بخطأ لا يتجاوز 0.2% (بعد اعتماد مقياس المخطط النظري بحيث لا يقل عن 1/50) [7].

لتحديد عناصر الحجم الكتيم المغمور في الماء أثناء التطبيقات العملية (عند توضع السفينة من دون ميلانات طولية أو عرضية) نستخدم المنحنيات البيانية لعناصر المخطط النظري (المنحنيات الهيدروستاتيكية) والتي تضم، كما يتضح من الشكل (4) ما يلي:

$S(T)$	– منحني البنية حسب خطوط الماء (العلاقة بين مساحة سطح خط الماء والغاطس)
$x_f(T)$	– منحني العلاقة بين فاصلة مركز ثقل سطح خط الماء وغاطس السفينة
$I_x(T)$	– منحني العلاقة بين عزم العطالة العرضي لمساحة سطح خط الماء وغاطس السفينة

$I_{yf}(T)$	– منحني العلاقة بين عزم العطالة الطولي لمساحة سطح خط الماء وغاطس السفينة
$V(T)$	– منحني العلاقة بين الحجم المغمور في الماء وغاطس السفينة (منحني الحمولة)
$x_c(T)$	– منحني العلاقة بين فاصلة مركز الحجم (الطفو) وغاطس السفينة
$z_c(T)$	– منحني العلاقة بين ارتفاع مركز الحجم (الطفو) وغاطس السفينة
$r(T)$	– منحني العلاقة بين نصف قطر الميتاسنتر العرضي وغاطس السفينة
$R(T)$	– منحني العلاقة بين نصف قطر الميتاسنتر الطولي وغاطس السفينة

في بعض الحالات تتم إضافة منحنيات أخرى مثل: $\alpha(T), \beta(T), \delta(T), Z_m(T)$. تجدر الإشارة هنا إلى أنه يُمكن استخدام العلاقات السابقة حتى أثناء وجود ميلانات عرضية أو طولية بزوايا صغيرة ضمن الحدود التالية: $|\theta| \le 5^\circ$, $|\psi| \le 1.5^\circ$. باستخدام المنحنيات الهيدروستاتيكية يُمكن أن نحل أيضاً المسألة العكسية التي تتمثل في: تحديد غاطس السفينة عند قيمة محددة لإزاحتها الحجمية. لهذه الغاية يتم الدخول إلى منحني الحمولة $V(T)$ من خلال قيمة الإزاحة $V = \frac{M}{\rho} = \frac{B}{\gamma}$، ومن ثم تحديد قيمة الغاطس.



الشكل (4) المنحنيات الهيدروستاتيكية

برنامج الحسابات المتعلّقة بتصميم المخطط النظري لبدن السفينة وإنشاء منحنياته الهيدروستاتيكية:

في هذا العمل تم إعداد برنامج حاسوبي لإجراء الحسابات المتعلّقة بتصميم المخطط النظري لبدن السفينة وإنشاء منحنياته الهيدروستاتيكية بلغة (Visual Basic) وباستخدام الجداول الإلكترونية. يتضمن هذا البرنامج عدة واجهات برمجية. يستطيع البرنامج معالجة الحالات المتعلّقة بالمسألة المطروحة كافة، بحيثُ يُمكّننا من تصميم ورسم المخططات النظرية لأنواع السفن كافة، وإنشاء المنحنيات الهيدروستاتيكية لهذه المخططات، وكذلك دراسة تأثير العوامل التصميمية على الخصائص الستاتيكية والديناميكية للسفن.

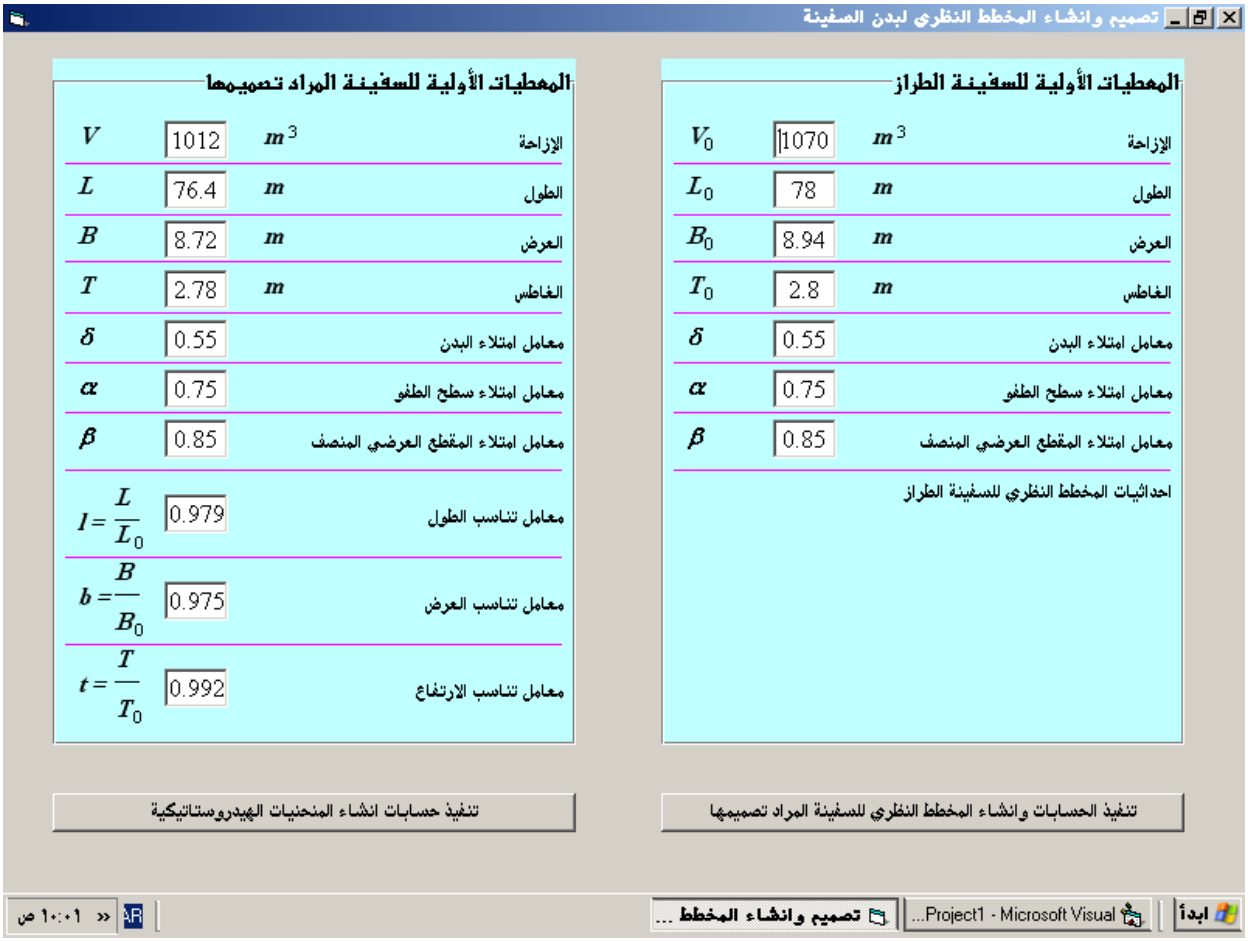
ولشكل (5) يوضّح الواجهة الرئيسة للبرنامج.

النتائج والمناقشة:

في هذا البحث تم استعراض الطرق المستخدمة في تصميم المخططات النظرية للسفن وكيفية إنشاء منحنياتها الهيدروستاتيكية، واستناداً إلى ذلك تم اختيار طريقة التشابه مع المخطط النظري للسفينة– الطراز. حيث قمنا بإعداد منهجية خاصة لتنفيذ الحسابات المتعلّقة بهذه الطريقة كافة، وعلى أساس هذه المنهجية تم إعداد برنامج حاسوبي متكامل بلغة Visual Basic، لمعالجة الحالات كافة ضمن هذا الموضوع. يُمكن استخدام البرنامج أيضاً للقيام بالأعمال البحثية المتعلّقة بتحديد تأثير العوامل التصميمية المختلفة على الخصائص الإبحارية الاستثمارية (الستاتيكية والديناميكية) للسفن، والقيام بعمليات التحميل والتفريغ على أسس علمية صحيحة، وتأمين سلامة إبحار السفن.

بعد ذلك تم استخدام هذا البرنامج لمعالجة حالات عديدة ومختلفة من السفن. إن مقارنة النتائج الحسابية التي تم التوصل إليها مع المعطيات المتوفّرة عن السفن التي تمت دراستها أثبتت دقة ومصداقية البرنامج الحاسوبي، مما يؤكد صلاحيته وإمكانية استخدامه لتنفيذ الحسابات الفعلية المتعلّقة بتصميم المخططات النظرية لأبدان السفن[7].

من أجل تحسين أداء عمل البرنامج الحاسوبي المرفق يجب توسيع قاعدة البيانات الخاصة به وكذلك زيادة عدد أنواع السفن التي يُمكن اعتمادها كطراز، وذلك من أجل توسيع مجالات استخدام هذا البرنامج والحصول على أفضل مردود. كما يُمكن تطوير البرنامج وذلك بالاستفادة من تطور القدرات البرمجية المستقبلية لجعل البرنامج يُعطي النتائج بدقة أكبر وبفترة زمنية أقل.



الشكل (5) الواجهة الرئيسية للبرنامج

المراجع:

1- الدكتور أحمد، معروف، 2004- نظرية السفينة 1- منشورات أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية، حلب.

2- الدكتور أحمد، معروف، 2005- نظرية السفينة 2- منشورات أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية ، حلب.

3- Колызаев Б.А., Косоруков А.И., Литвиненко В.А. 1980 –"Справочник по проектированию судов с динамическими принципами поддержания", Ленинград, Судостроение.

4- Войткунский Я.И. 1985 - "Справочник по теории корабля", Ленинград, Судостроение.

5- Ломоть В.К. 1980- "Теория корабля", Ленинград.

6- . Дробленков В.Ф, Ермолаев, Н.П.Муру А.И. 1984- С.И.Крылов, Ю.И. Кузнецов "Справочник по теории корабля", Воениздат.

7- Новиков Е.Г. 1995-"Методика выполнения дипломного проекта по разделу "Теория корабля"", Ленинград.