

Hull Structural Weight Estimation of New General Cargo Ships Using Principal Dimensions

Dr. Ghaleb Ahmad*

(Received 12 / 1 / 2020. Accepted 16 / 2 / 2020)

□ ABSTRACT □

The ship's lightweight is considered one of the main requirements of preliminary ship design. It's the most application parameter, which can be utilized starting from preliminary design phase all the way through the construction, until reaching the ship to the launching and delivery stage. Therefore, it's necessary a reliable estimation of weight to maintain a successful performance of ship. The weight is the major factor in determining the adequacy of the ship stability before performing strength calculation. The accurate estimation of weight, plays the crucial role in determining the structural cost and competitive pricing.

The ship's hull forms the main body of the ship. It's the most notable structural entity of the ship. It's the watertight enclosure of the ship, which protects the cargo, machinery and accommodation spaces of the ship from the weather, flooding, and structural damage. The weight of ship's hull forms from 50% to 80% of the lightweight for most of merchant ships.

This research aims to determine the structural weight of new ships hull based on principal dimensions using simplified calculation method.

Keywords: Light weight, principal dimensions, Hull weight, Dead weight, statistical data of exiting ships.

*Associate Professor - Marine Engineering Department - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering- Tishreen University- Lattakia- Syria.

تقدير الوزن الانشائي لأبدان سفن البضائع العامة الجديدة باستخدام الأبعاد الأساسية

د. غالب أحمد*

(تاريخ الإيداع 12 / 1 / 2020. قُبل للنشر في 16 / 2 / 2020)

□ ملخص □

يعتبر الوزن الفارغ للسفينة من المتطلبات الرئيسة للتصميم الأولي للسفن، وهو البارامتر الأكثر تطبيقاً بدءاً بمرحلة التصميم الأولي حتى الوصول بالسفينة الى مرحلة التسليم والتدشين. لذلك يجب تقدير الوزن بشكل موثوق للمحافظة على الأداء الجيد للسفينة، وتقديره التقريبي ذو أهمية كبيرة في تحقيق الاتزان للسفينة قبل اجراء حسابات المتانة، كما أنّ التقدير الدقيق للوزن هو المدخل الأكثر أهمية في تقدير التكلفة الانشائية والتسعير المنافس. يشكّل بدن السفينة الجسم الرئيس للسفينة، وهو الكيان الانشائي الأكثر أهمية في السفن، إذ يقوم بإحكام السفينة ضد الماء ويساهم في حماية السفينة من الغمر والعطب. يشكّل وزن البدن من 50% الى 80% من الوزن الفارغ لمعظم السفن التجارية. يهدف هذا البحث الى حساب الوزن الانشائي لبدن السفن الجديدة اعتماداً على الأبعاد الأساسية باستخدام طرق حسابية مبسطة.

الكلمات المفتاحية: الوزن الفارغ للسفينة، الأبعاد الأساسية للسفينة، وزن البدن، الوزن المحمول، البيانات الاحصائية لسفن موجودة.

* أستاذ مساعد - قسم الهندسة البحرية-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين- اللاذقية - سورية.

مقدمة:

لنطفو السفينة في الماء، يجب أن تحقق التوازن الهيدروستاتيكي، لذلك فالوزن الكلي للسفينة يجب أن يساوي قوة الطفو الناتجة عن الحجم الغاطس من السفينة. يعتبر التقدير التقريبي لوزن السفينة ذو أهمية كبيرة في تصميم السفن، ومعرفة ضرورة في مرحلة التصميم الأولي لتحقيق الاتزان للسفينة قبل إجراء حسابات المتانة.

يعتبر الوزن الفارغ للسفينة من المتطلبات الرئيسية للتصميم الأولي للسفن، وهو البارامتر الأكثر تطبيقاً بدءاً بمرحلة التصميم الأولي حتى الوصول بالسفينة إلى مرحلة التسليم والتدشين، كما أنه البارامتر الأكثر أهمية في تصميم وبناء السفن والمنصات البحرية. تعتمد كل البارامترات الأساسية للسفينة كالوزن المحمول، السرعة، الاتزان، والمتانة، بشكل حاسم على الوزن الفارغ للسفينة وعلى مركز ثقل هذا الوزن. الوزن الفارغ للسفينة ليس ثابتاً لكنه تابع للأبعاد الأساسية للسفينة وللمحرك الرئيس في السفينة.

يمكن أن يطبق تقدير وزن السفينة لأي نوع من الانشاءات البحرية الطافية. يقسم الوزن الفارغ للسفينة إلى مجموعة من الأوزان. تتألف السفينة الفارغة من ثلاثة مكونات:

- وزن البدن ويشمل وزن الفولاذ الانشائي، ووزن الانشاءات العلوية، ووزن فولاذ المعدات (قواعد المحرك، السلام)، ووزن مادة حماية السفينة.
- وزن المحرك، ويشمل كل المكونات الموجودة في غرفة المحركات (المحركات الرئيسية والمحركات المساعدة، منشأة الرفاص، المولدات، المراجل).

- وزن المعدات والتجهيزات، وتشمل معدات البضاعة (روافع التحميل والتفريغ)، معدات الملاحة والمناورة، معدات الطاقم والركاب (التموين، معدات الانقاذ)، معدات الرسو، معدات الاتصال.

يشكل بدن السفينة الجسم الرئيس للسفينة، فهو الذي يقوم بإحكام السفينة ضد الماء ويحمي البضاعة والمحرك، وفراغات السكن للسفينة من الظروف الجوية، كما يساهم في حماية السفينة من الغمر والعطب، ويشمل القاع، والجوانب، والسطوح. يعتبر وزن الفولاذ الانشائي المكون الأساسي لبدن السفينة، ويتكون من الألواح وعناصر التقوية.

يشكل وزن البدن من 50% إلى 80% من الوزن الفارغ لمعظم السفن التجارية، وهو متعلق بنوع السفينة، ففي ناقلات النفط تتراوح نسبته بين (70-80)% من الوزن الفارغ للسفينة، كما تشكل تكلفته حوالي 27% من التكلفة الكلية للسفينة [1]. يفضل في تصميم السفن إجراء التحليل المناسب باستخدام الطرق الممكنة الأبسط، وذلك من أجل التقدير السريع للوزن، وتقليل الوقت والتعقيد في الحسابات التحليلية.

سيتم في هذا البحث تقدير الوزن الانشائي لأبدان أنواع مختلفة من السفن باستخدام طريقة مبسطة تعتمد على الأبعاد الأساسية ومقارنتها مع الطرق المختلفة المستخدمة في تقدير وزن البدن.

أهمية البحث وأهدافه:

يعتبر بدن السفينة الكيان الانشائي الأكثر أهمية للسفن، يشكل وزن البدن من 50% إلى 80% من الوزن الفارغ لمعظم السفن التجارية، فعملية تقدير الوزن ضرورية لإجراء حسابات بناء السفن وتقدير الفعالية الاقتصادية. يجب تقدير الوزن بشكل موثوق للمحافظة على الأداء الجيد للسفينة، كما أن التقدير الدقيق للوزن هو المدخل الأكثر أهمية في تقدير التكلفة الانشائية والتسعير المنافس.

يهدف هذا البحث الى تحديد الأبعاد الأساسية للسفن الجديدة اعتمادا على الوزن المحمول *Dead Weight*، وتقدير الوزن الانشائي لأبدان أنواع مختلفة من السفن باستخدام طرق مبسطة تعتمد على الأبعاد الأساسية ومقارنتها مع بعض الطرق المستخدمة في تقدير وزن البدن، وذلك للوصول الى تقدير دقيق لحساب التكلفة الانشائية للسفن وتسعيها.

طرائق البحث ومواده:

لتحقيق الأهداف المذكورة أعلاه، تم في هذا البحث تطوير علاقات رياضية مبسطة لحساب الوزن كتقريب أولي. يتم من خلال هذه العلاقات حساب الأبعاد الأساسية للسفن الجديدة اعتمادا على الوزن المحمول، واستخدام هذه الأبعاد في علاقات رياضية تتيح تقدير وزن البدن لأنواع مختلفة من السفن.

1- طرق تقدير وزن البدن

تعتبر الطرق التقريبية المستخدمة في تقدير وزن السفينة المصممة من الفروع الهامة في نظرية تصميم السفن. فمعرفة هذا البارامتر ضروري لمرحلة التصميم الأولي، وذلك من أجل طفو واستقرار السفينة قبل اجراء حسابات المتانة. يقدر وزن انشاء السفينة اعتمادا على البيانات الاحصائية لسفن موجودة أو بالاعتماد على قواعد هيئات التصنيف. هناك العديد من الطرق التي تستخدم في تقدير وزن البدن، لكن هذه الطرق مقيدة العوامل التالية:

- النوع الوظيفي للسفينة.
- الترتيب الانشائي للبدن.
- المادة الانشائية.
- مجال حجم السفينة.

يمكن تصنيف هذه الطرق وفقا لما يلي [2,3]:

- طرق تقريبية عددية لتوزيع وزن البدن، وتشمل:
 - a *Comstock Approximation*
 - b *Biles Approximation*
 - c *Prohaska Approximation*
 - d *Trapezoidal Approximation*

- طرق تعتبر بأن الأوزان تابعة للمنحنيات المميزة للبدن، وهي مناسبة لتستخدم في عمليات الوصول الى الأبعاد الأساسية المثالية.

- طرق تعتمد على وجود بيانات من سفن موجودة (تستخدم الوزن الفارغ للسفينة الأم)، وتكون ذات تقديرات أكثر دقة، لكنها غير كافية عند التعامل مع أنواع جديدة من السفن.

- طرق تعتمد على مساحة السطوح للمادة المستخدمة في الانشاء، وتستخدم عندما يكون شكل البدن، الترتيب العام، والتقسيمات، معروفة بشكل تقريبي.

- طرق تعتمد على معامل مقطع وسط السفينة الذي يعتمد على أبعاد مقطع وسط السفينة.

- طرق تستخدم نسبة الوزن المحمول الى الوزن الكلي.

- طرق تستخدم الطول، العرض، العمق.

- طرق تستخدم التقسيم الى الوزن الانشائي (وزن الفولاذ + وزن الانشاءات العلوية) W_S ، وزن المعدات W_E ، وزن المحرك W_M .

2- العلاقات المستخدمة في تقدير وزن البدن

يعتبر بدن السفينة الكيان الانشائي الأكثر جدارة بالاهتمام. يقسم وزن السفينة الى مجموعات، يتم حساب أوزانها بطرق عديدة اعتمادا على هدف التصميم وطور التصميم. من أجل تقدير وزن البدن يجب تقدير الوزن الفارغ للسفينة، والذي هو وزن السفينة نفسها عندما تكون فارغة كلياً، وهو ثابت لا يتغير على امتداد عمر السفينة. يمكن اعتبار أن الوزن الفارغ للسفينة في طور التصميم الأولي كمجموع لثلاث مكونات أساسية وفق العلاقة التالية:

$$W_{LS} = W_S + W_E + W_M$$

$$W_{LS} = \text{الوزن الفارغ للسفينة.}$$

$W_S = W_H + W_{sps}$: وزن الفولاذ الانشائي ويشمل وزن البدن، وزن الانشاءات العلوية، ووزن فولاذ المعدات (قواعد المحرك، الدعائم، السلالم،...)، ووزن مادة حماية البدن.

W_M = وزن المحرك وكل المكونات الموجودة في غرفة المحركات (المحركات الرئيسية والمحركات المساعدة، منشأة الرفاص، المراجل، المولدات).

W_E = وزن المعدات وآلات السطح والتجهيزات وتشمل: معدات البضاعة (أوناش التحميل والتفريغ)، معدات الملاحة، معدات المناورة، معدات الاتصالات، معدات الطاقم والركاب (معدات الانتقاذ، الأثاث، التموين، المنظومات الصحية).
يبين الجدول (1) التالي النسب المئوية لمجموعات الوزن لمختلف أنواع السفن [4].

الجدول (1) النسب المئوية لمجموعات الوزن المختلفة لأنواع متعددة من السفن بالنسبة للوزن الفارغ للسفينة

Ship Type	DWTt/Δ %	W_{St}/W_L %	W_o/W_L %	W_M/W_L %
cargo ship 5000–15000 tdw	60–80	55–64	19–33	11–22
coastal cargo ship 499–999 GT	70–75	57–62	30–33	9–12
bulker 20000–50000 tdw	74–80	68–79	10–17	12–16
bulker 50000–150000 tdw	80–87	78–85	6–13	8–14
tanker 25000–120000 tdw	65–83	73–83	5–12	11–16
≥200000tdw	83–88	75–83	9–13	9–16
containership 10000–15000tdw	60–76	58–71	15–20	9–22
20000–50000tdw	60–70	62–72	14–20	15–18
ro-ro ship ≤16000 tdw	50-60	65-78	12-19	10-20
reefer 300000–600000cuft	45–55	51–62	21–28	15–26
ferry	16–33	56–66	23–28	11–18
trawler 44–82m	30–58	42–46	36–40	15–20
tug 500–3000kW	20–40	42–56	17–21	38–43

تعتبر معظم طرق التقدير أنّ وزن البدن مفصول عن وزن الانشاءات العلوية، وذلك بهدف تقدير التكلفة. سنعرض فيما يلي بعض الطرق المستخدمة في حساب وزن بدن السفينة:

1- طريقة E Parameter 1962 – Watson [5]

$$W_{St} = K.E^{1.36}$$

$$W_s = W_{St}[1 + 0.05(C_b - 0.7)]$$

$W_s(\text{ton}) =$ وزن الفولاذ من أجل C_b عند D 0.8، حيث، $D =$ العمق.

$W_{st}(\text{ton}) =$ وزن الفولاذ من أجل $C_b=0.7$

$$E=L(B+T)+0.85 L(d-T)+0.85\sum l_1h_1+ 0.75\sum l_2h$$

حيث، $l_1, h_1 =$ طول وارتفاع كامل عرض التشييدات.

$L_2, h_2 =$ طول وارتفاع بيوت السكن.

$E =$ رقم معدات اللويدز .

$K =$ ثابت يتعلق بنوع السفينة.

يتم الحصول على قيم K, E من الجدول (2) [5].

الجدول (2) قيم K, E

Ship Type	K		Range of E
	Mean value	Range	
Tankers	0.032	± 0.003	1500 -40000
Chemical Tankers	0.036	± 0.001	1900 -2500
Bulk carriers	0.031	± 0.002	3000 -15000
Container Ships	0.036	± 0.003	6000 -13000
Refrigerated Cargo	0.034	± 0.002	4000 -6000
Coasters	0.030	± 0.002	1000 -2000
Offshore Supply	0.045	± 0.005	800 -1300
Tugs	0.044	± 0.002	350 -450
Research Ships	0.045	± 0.002	1300 -1500
Ro-Ro Ferries	0.031	± 0.006	2000 -5000
Passenger Ships	0.038	± 0.001	5000 -15000
Frigates and Corvettes	0.031	Not Known	

2- طريقة الرقم التربيعي [3]:

$$W_H = K[L(B+D)]$$

3- طريقة الرقم الحجمي [3]:

$$W_H = K(L.B.D)$$

$K =$ ثابت يتم الحصول عليه من سفن مشابهة.

4- طريقة الرقم التربيعي *Morsich, Genova* [3]:

$$W_H = K Nqu$$

$$Nqu = L^{k/3} . B . D^{1/2} (1+C_b . 3/4)^{1/2}$$

5- *Sato* لناقلات النفط بحمولة من $(150000-300000)\text{ton}$ [1967] [3]:

$$W_H = 10^{-5} (C_b/0.8)^{1/3} [5.11(3L^2B/D)+2.56L^2(B+D)^2]$$

6- *Gudina et al* لناقلات النفط وناقلات الصب [2010] [3]:

$$W_H = (1-f_1/100)\{0.0282 [L_{pp}(B+0.85 D+0.15 T)]^{l-36} \\ \{1+0.5 [C_b-0.7)+(1-C_b) (T/3)(0.8D-T)]\}+450\}$$

7- *dAlmeido* [2009] [3]:

$$W_H = K_1 L^{K_2} B^{K_3} D^{K_4}$$

حيث، L, B, D, T = طول، عرض، عمق، غاطس السفينة.

C_b = معامل الامتلاء للسفينة عند غاطس التحميل.

K_1, K_2, K_3, K_4 = ثوابت يتم الحصول عليها من الجدول (3):

الجدول (3) قيم الثوابت K_1, K_2, K_3, K_4 لأنواع مختلفة من السفن.

نوع السفينة	K_1	K_2	K_3	K_4
ناقلة نפט	0.0361	1.6	1.0	0.22
ناقلات صب	0.0328	1.6	1.0	0.22
ناقلات حاويات	0.0293	1.76	0.712	0.374
ناقلة بضائع عامة	0.0313	1.675	0.85	0.28

3- تقدير الأبعاد الأساسية للسفن

عند تقدير الأبعاد الأساسية للسفينة الجديدة، يؤخذ التوجه من سفينة مشابهة ذات تفاصيل أساسية معروفة، والتي يجب أن تكون مشابهة في النوع، الحجم، السرعة والطاقة للسفينة الجديدة.

عندما يقدم مالك السفينة طلبه الأولي، يعطي عادة لبناء السفن أربعة مواضيع من المعلومات: 1- نوع السفينة. 2- الوزن المحمول للسفينة الجديدة. 3- السرعة المطلوبة في الخدمة. 4- المسار الذي ستعمل عليه السفينة الجديدة. إن معرفة المصمم بالمسار الذي ستعمل عليه السفينة الجديدة هاما جدا. هناك طول أعظمي يجب أن يعتبر، إذا كانت السفينة ستعمل عبر قناة بنما *Panama Canal*، فطولها الأعظمي يجب أن يكون $289.56m$. ومن أجل *St. Lawrence Seaway*، فالطول محدد بـ $225.5 m$ [6]. يبين الجدول (4) بيانات احصائية للأبعاد الأساسية لسفن البضائع العامة اعتمادا على الوزن المحمول للسفينة [7].

الجدول (4) الأبعاد الأساسية لسفن البضائع العامة اعتمادا على الوزن المحمول.

<i>Dead weight (ton)</i>	<i>length overall (m)</i>	<i>length between perpendicular (m)</i>	<i>Breadth B(m)</i>	<i>Draught T(m)</i>
1000	67	61	10.7	3.8
2000	82	75	13.1	4.8
3000	92	85	14.7	5.5
5000	107	99	17.0	6.4
10000	132	123	20.7	8.1
12000	139	130	21.8	8.6
18000	156	147	24.4	9.8
30000	182	171	28.7	10.5
40000	198	187	30.7	11.5
70000	233	222	32.3	13.8
90000	251	239	38.7	15.0
120000	274	261	42.0	16.5
150000	292	279	44.7	17.7

من تحليل البيانات السابقة، تم ربط الأبعاد الأساسية للسفينة بالوزن المحمول بعلاقة وفق الشكل التالي [8]: $Y = \alpha X^\beta$ حيث، $Y =$ تمثل الأبعاد الأساسية للسفينة (L_{BP}, B, T, D) ، و $X =$ الوزن المحمول، و α و $\beta =$ ثوابت تتعلق بالبعد الأساسي. تم اقتراح علاقات لتحديد الأبعاد الأساسية لسفن البضائع العامة (الطول بين القائمين L_{BP} ، العرض B ، العمق D ، الغاطس T)، كتوابع للوزن المحمول المطلوب [9].

$$1- \text{الطول بين القائمين: } L_{BP} = 6.7(DWT)^{0.315} \quad (m)$$

$$2- \text{العرض: } B = 1.7(DWT)^{0.275} \quad (m)$$

$$3- \text{الغاطس: } T = 0.7(DWT)^{0.255} \quad (m)$$

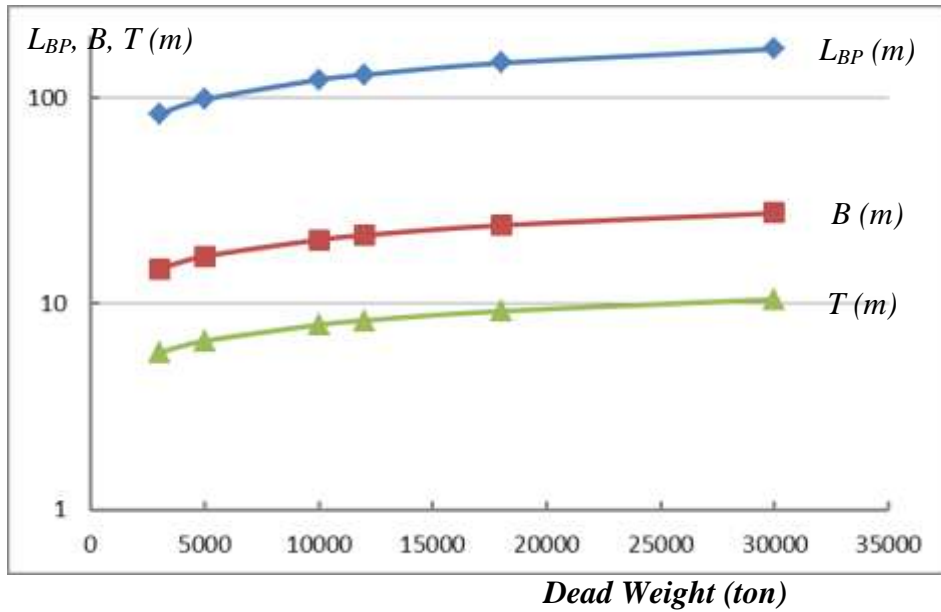
$$4- \text{العمق: } D = 0.9(DWT)^{0.25} \quad (m)$$

باستخدام العلاقات المقترحة المذكورة أعلاه، تم حساب الأبعاد الأساسية لسفن البضائع العامة لحمولة بين 3000 طن و 40000 طن، وتم إجراء المقارنة مع الأبعاد الأساسية المبينة في الجدول 4. يبين الجدول (5) قيم هذه الأبعاد والنسب المئوية للخطأ [9].

الجدول (5) الأبعاد الأساسية لسفن البضائع العامة باستخدام العلاقات المقترحة.

Dead weight (ton)	length between perpendicular (m)		Breadth B(m)		Draught T(m)		Depth D(m)
	$L_{BP(Proposed)}$	Error %	$B_{Proposed}$	Error %	$T_{Proposed}$	Error %	$D_{Proposed}$
3000	83.43	-1.84	14.76	0.40	5.81	5.63	7.81
5000	98.00	-1.01	16.95	0.29	6.62	3.34	8.97
10000	121.92	-0.78	20.43	1.30	7.90	2.46	10.8
12000	129.12	-0.67	21.46	1.55	8.28	3.72	11.36
18000	146.71	-0.19	23.95	1.84	9.18	6.32	12.68
30000	172.33	0.77	27.49	4.21	10.46	0.38	14.55
40000	188.67	0.89	29.71	3.22	11.25	2.17	15.73

يبين الشكل (1) الأبعاد الأساسية (الطول بين القائمين، العرض، والغطس) كتابع للوزن المحمول اعتمادا على العلاقات المقترحة أعلاه.



الشكل (1) الأبعاد الأساسية (الطول، العرض، والغطس) كتابع للوزن المحمول.

يمكن الشكل 1 من تحديد الأبعاد الأساسية (الطول، العرض، والغطس) بسهولة وسرعة لأوزان محمولة تتراوح بين 3000 و 35000 طن. كما يبين إمكانية عبورها القنوات المائية المحددة بأبعاد معينة، حيث أنّ الغاطس محدد بـ $T=7.6$ m لقناة *St. Lawrence Seaway*.

4- نسبة الوزن المحمول الى الازاحة.

بالرغم من أنّ الأبعاد الأساسية للسفينة يتم اختيارها مباشرة بالاعتماد على بيانات لسفن سابقة كطريق مختصر، إلا أنّه تعتبر نسبة الوزن المحمول (الوزن الذي تحمله السفينة والمكوّن من الوقود، الماء العذب، المخزونات، زيت التزييت، ماء الصابورة، الطاقم، الركاب والبضاعة) الى الازاحة (حجم الماء الذي تزيحه السفينة وهو مجموع الوزن المحمول والفاغ) نقطة البداية الشائعة في تصميم السفن. تستخدم نسبة الوزن المحمول الى الازاحة للحصول على التقريب الأول للازاحة من أجل وزن محمول معطى. تعتمد هذه النسبة على الوزن الكلي المحمول أكثر من اعتمادها على الوزن المحمول للبضاعة، لأنّ الوزن الكلي المحمول هو النمط المتاح بسهولة وهو مستقل عن كمية الوقود (لا يعتمد على كمية الوقود المتغيرة).

تتغير نسبة الوزن المحمول الى الازاحة تبعاً لنوع السفينة، سرعة السفينة، تحملها ونوعيتها. يمكن القول، بأنّ قيمة هذه النسبة ستكون أكبر للسفن الأضخم والأبطأ. القيم النموذجية لنسبة الوزن المحمول الى الازاحة لأنواع مختلفة من السفن عند خط التحميل الصيفي مبينة في الجدول 6 [10]. ينصح في مرحلة التصميم الأولي الأخذ في الاعتبار كم يمكن أن تتغير هذه النسبة لنوع السفينة المختارة، وتحضّر لتصحيح الازاحة الناتجة في المرحلة النهائية من عملية التصميم إذا كان ضرورياً.

الجدول (6) نسبة الوزن المحمول الى الازاحة لأنواع مختلفة من السفن

Ship Type	$C_D=Deadweight/Displacement$
Container Ship	0.60
General Cargo	0.70
Ore Carrier	0.82
Ro-Ro Vessel	0.3
Oil Tanker	0.80-0.86
Passenger Liners	0.35-0.40
LNG or LPG Shipsr	0.62
Reefer	0.58-0.60
Cross-Chanal	0.20

5- العلاقات المقترحة لتحديد الوزن الانشائي لبدن السفينة.

يتميز تصميم السفينة من خلال الطول (L)، العرض (B)، والعاطس (T) كأبعاد أساسية بالإضافة للوزن المحمول. ترتبط الأبعاد الأساسية بالوزن المحمول لكل من الطول، العرض، والعاطس بالعلاقة:

$$Y/\alpha = X^\beta \quad (1)$$

بأخذ لوغاريتم الطرفين، نحصل على العلاقة التي تعطي قيمة الوزن المحمول تبعاً لكل بعد وفق ما يلي:

$$\text{Log}X = 1/\beta(\text{Log}(Y/\alpha)) \quad (2)$$

بأخذ كافة الأبعاد الأساسية كتابع للوزن المحمول تصبح المتحولات في العلاقة 1 كما يلي:

تتغير الثوابت لتصبح:

$$\beta = \beta_L + \beta_B + \beta_T$$

$$\alpha = \alpha_L \times \alpha_B \times \alpha_T$$

حيث: $\beta_L, \beta_B, \beta_T, \alpha_L, \alpha_B, \alpha_T$ ثوابت تتعلق بكل من العايطس، العرض، الطول بين القائمين.

والمحول Y الذي يعبر عن البعد الأساسي يصبح:

$$Y = L^{\beta_L} \times B^{\beta_B} \times T^{\beta_T}$$

اعتماداً على العلاقات المقترحة أعلاه [9] ، يتم التوصل الى العلاقة التي تعطي الوزن المحمول من أجل سفن

البضائع العامة لتصبح وفق الشكل التالي:

$$\text{Log}DWT = 1/0.84(\text{Log}(LBT/8.6)) \quad (3)$$

ويعطى الوزن الكلي للسفينة (الازاحة) بالعلاقة التالية:

$$\Delta = DWT/C_D \quad (4)$$

حيث: $DWT(ton)$: الوزن المحمول.

$\Delta (ton)$: ازاحة السفينة (الوزن الكلي).

C_D : معامل الوزن المحمول.

أو بالعلاقة التالية:

$$\Delta = \rho \times L \times B \times T \times C_b \quad (5)$$

حيث، C_b : معامل الامتلاء الحجمي، $\rho = 1.025(ton/m^3)$: كثافة الماء الذي تبحر فيه السفينة.

يبين الجدول 7 قيم معامل الامتلاء لبعض أنواع السفن [11].

الجدول (7) معامل الامتلاء لبعض أنواع السفن

Ship Type	C_b
Container Ship	0.60-0.64
General Cargo	0.60-0.75
Dry Bulk Carrier	0.75-0.84
Product Carrier	0.78-0.83
Crude Oil Carrier	0.82-0.86
Farries	0.55-0.60
Frigate	0.45-0.48
Tug	0.54-0.58
Yachtl	0.15- 0.20

و يعطى الوزن الفارغ بالعلاقة التالية:

$$W_L = \Delta - DWT \quad (6)$$

ويشكل وزن البدن نسبة من الوزن الفارغ للسفينة، ويعتمد على نوع السفينة، وهو من أجل سفن البضائع العامة ذات الحمولة من 5000-15000 طن، يعطى بالعلاقة التالية [4]:

$$W_H = (0.55 - 0.64)W_L \quad (7)$$

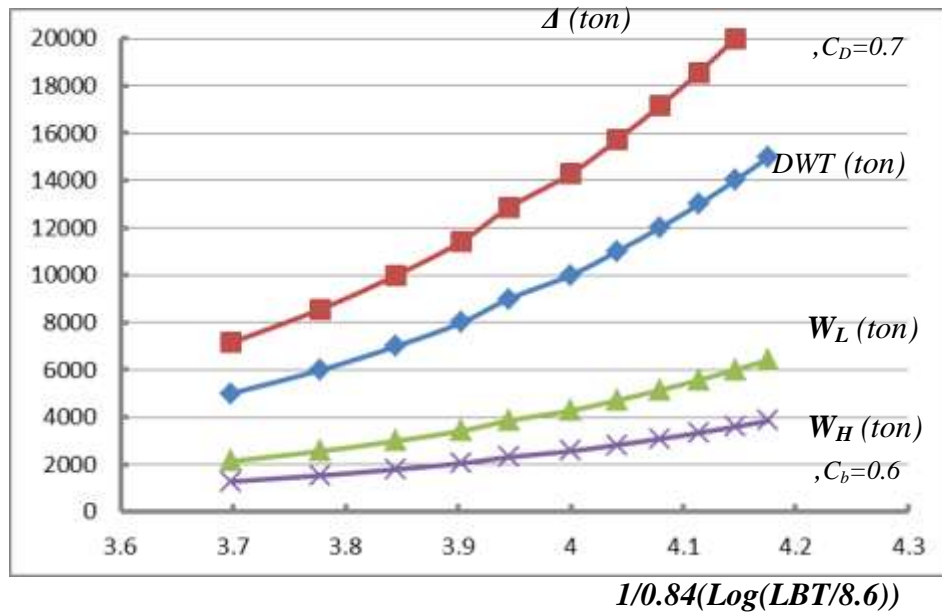
النتائج والمناقشة:

اعتمادا على العلاقة المقترحة 3 ، تم حساب الوزن المحمول لسفن البضائع العامة بأبعاد أساسية مختلفة. يبين الجدول (8) الوزن المحمول لسفينة بضائع عامة، الوزن الكلي، والوزن الفارغ. كما يبين الشكل (2) العلاقة بين الأبعاد الأساسية وكل من الوزن المحمول، الوزن الكلي، الوزن الفارغ، ووزن البدن اعتمادا على العلاقات المقترحة أعلاه.

الجدول(8) الوزن(المحمول، الكلي، الفارغ) لسفن البضائع العامة اعتمادا على الأبعاد الأساسية.

LBP (m)	B(m)	T(m)	D(m)	DWT (ton)	Total Weight (ton)		W_L (ton)
					$\Delta = DWT/C_D$	$\Delta = C_b \rho LBT$	
98	16.95	6.68	8.97	5000	7142.8	6762-8453	2142.8
104	17.8	6.94	9.42	6000	8571.5	7901-9846.4	2571.5
109	18.56	7.2	9.82	7000	10000	8958-11197	3000
113.6	19.24	7.47	10.2	8000	11428.5	10045-12557	3428
118	19.9	7.7	10.5	9000	12857	11120-13900	3857
122	20.4	7.9	10.8	10000	14285	12102-15127	4285.5
125.6	20.97	8.1	11.1	11000	15714	13120-16400	4714
129	21.46	8.28	11.4	12000	17143	14110-17637	5143
132.4	21.9	8.45	11.6	13000	18571.4	15068-18835.3	5571.4
135.5	22.4	8.6	11.9	14000	20000	16039-20048.5	6000
138.5	22.8	8.77	12.0	15000	21428	17032-21290	6428

Δ , DWT, W_L , W_H (ton)

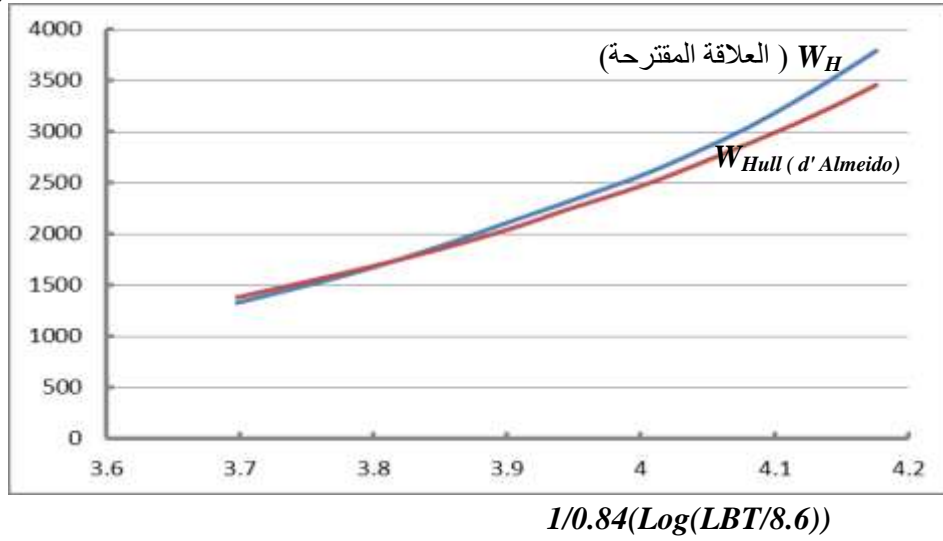


الشكل(2) العلاقة بين الأبعاد الأساسية وكل من الوزن الكلي، الوزن المحمول، الوزن الفارغ، وزن البدن.

تم اعتماد قيم ثابتة لكل من C_D و C_B ، مبنية على الشكل أعلاه، من أجل العلاقة بين الأبعاد الأساسية وكل من الوزن الكلي، الوزن المحمول المبنية بالشكل 2 (قيم الازاحة المحسوبة تقع ضمن المجال وفقا للقيم الأصغرية والأعظمية لمعامل الامتلاء C_B)، يمكن زيادة الدقة بتغيير قيم المعاملات ضمن المجال المسموح به. يبين الجدول (9) وزن البدن لسفينة بضائع عامة المحسوب وفقا للعلاقات المقترحة ووزنه تبعاً لعلاقة $d'Almeido$ [3] [2009]: $W_H = K_1 L^{K_2} B^{K_3} D^{K_4}$ ، وذلك لوزن محمول بين 5000 و 15000 طن، والنسبة المئوية للخطأ بين الوزنين. كما يبين الشكل (3) العلاقة بين الأبعاد الأساسية للسفينة ووزن البدن وفقاً للعلاقتين المذكورتين أعلاه.

الجدول (9) وزن البدن لسفن البضائع العامة.

DWT(ton)	Hull Weight (ton)		Error %
	W_{Hull} (Proposed)	W_{Hull} (d'Almeido)	
5000	1328	1381	4
6000	1594	1619.5	1.6
7000	1860	1837	1.2
8000	2091	2054	1.7
9000	2314	2268.2	1.98
10000	2528	2470	2.3
11000	2781	2675	3.8
12000	3034	2908	4.1
13000	3231	3069	5.0
14000	3480	3261	6.3
15000	3664	3458	7.0

W_H (ton)

الشكل (3) العلاقة بين الأبعاد الأساسية ووزن البدن.

تظهر نتائج المقارنة بأن وزن البدن المحسوب بالعلاقات المقترحة تعطي نتائج قريبة جدا من تلك التي تعتمد على علاقة *d'Almeido* [2009] [3].

الاستنتاجات والتوصيات:

يعتبر التقدير التقريبي لوزن السفينة ذو أهمية كبيرة في تصميم السفن، ومعرفته ضرورية في مرحلة التصميم الأولي لتحقيق الاتزان للسفينة قبل اجراء حسابات المتانة. تعتمد كل البارامترات الأساسية للسفينة كالوزن المحمول، السرعة، الاتزان، والمتانة، بشكل حاسم على الوزن الفارغ للسفينة وعلى مركز ثقل هذا الوزن. يقسم الوزن الفارغ للسفينة الى مجموعة من الأوزان، تشمل، وزن البدن، وزن المحرك، و وزن المعدات والتجهيزات. يعتبر وزن الفولاذ الانشائي المكون الأساسي لبدن السفينة، ويتكون من الألواح وعناصر التقوية، يشكّل وزن البدن من 50% الى 80% من الوزن الفارغ لمعظم السفن التجارية، كما تشكل تكلفته حوالي 27% من التكلفة الكلية للسفينة. تمّ في هذا البحث استخدام علاقات بسيطة، تساعد في التقدير السريع للوزن، وتقليل الوقت والتعقيد في الحسابات التحليلية لوزن البدن. من خلال الأشكال التي تبين العلاقة بين الأبعاد الأساسية والأوزان، يمكن تقدير وزن البدن لسفن تجارية بأبعاد وحمولات مختلفة اعتمادا على الأبعاد الأساسية للسفن الجديدة. قيم الأوزان كانت قريبة جدا من تلك المبنية على البيانات الاحصائية أو تلك المحسوبة بعلاقات رياضية. تعتمد الدقة في تقدير وزن البدن على قيم معامل الامتلاء C_{be} وعلى معامل التحميل C_D المستخدمة في العلاقات. يمكن استخدام العلاقات المقترحة لتقدير الأوزان الانشائية للسفن الجديدة عند تقدير التكاليف الانشائية.

References:

- 1- Haakan Shetelig, *Ship building cost estimation*, Narwegian University of Science and Technology Department of Marine Technology, June 2013.
- 2- D. Laurence Hansch, *Methods of determining the longitudinal weight distribution of a ship*, Naval Architecture Northrop Grumman New Port News, January 24th2008.
- 3- www.mar.ist.utl.pt/ Navios/ SD-1.3.1, Manuel Ventura, *Estimation Methods for Basic Ship Design*, Jan 28, 2014.
- 4- Schneekluth & V. Bertram (1998), *Ship design for Efficiency and Economy*, Second Edition, Oxford: Butterworth-Heinemann.
- 5- Watson, David G.M., *Practical Ship Design, Volume 1*, Amsterdam: ELSIVER-1998.
- 6- A. Charchalis & J. Krefft, *Main Dimensions Selection Methodology of the Container Vessels in the preliminary Stage*, *Journal of Kones Powertrain and Transport*, Vol. 16, No. 2 2009.
- 7- Hironao TAKAHASHI, *Study on Standards for Main Dimensions of the Design Ship*, *Technical Note of NILIM No. 309*.
- 8- Soheil Radfar, Air Taherkhani, Rozbeh Panahi, *Standardization of the main Dimensions of Design Container Ships in Ports- A Case Study*, *World Journal of Engineering and Technology*, 2017.
- 9- Ahmad, Ghaleb, *Estimation of Principle Dimensions for New General Cargo Ships in Preliminary Design Stage*, *Journal of Tishreen University for research and Scientific Studies*, Volume 41, No. 4, 2019.
- 10- <http://www.Slideshare.net/> Preliminary ship design, 13 April 2013.
- 11- C.B. Barrass, D.R. Derrett, *Ship Stability for masters and Mates*, Seven edition, 2012.