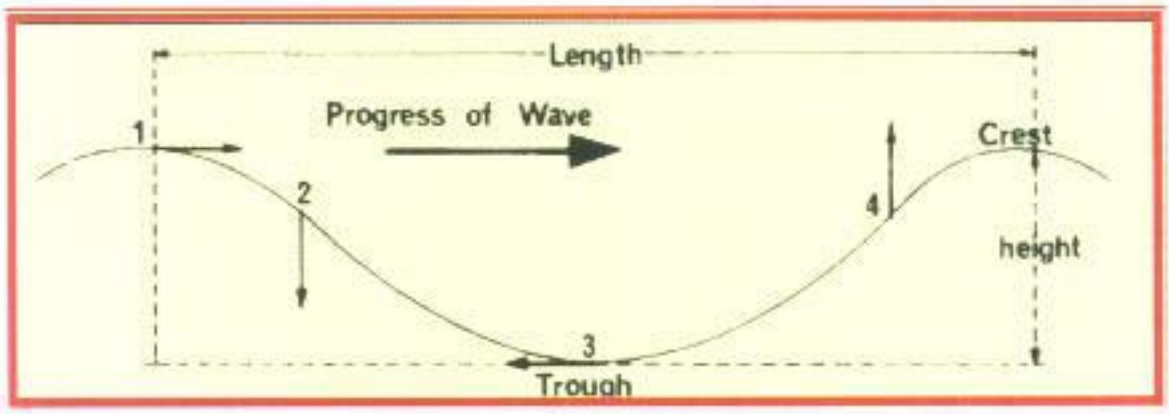
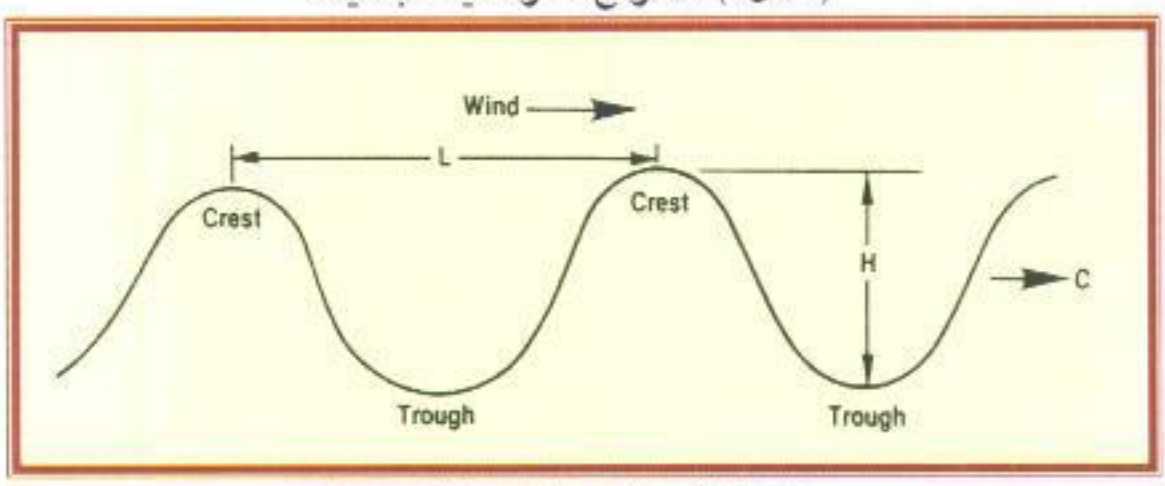
الأمواج البحرية SEA WAVES

د.أحمد عبد العال محمد
رئيس الإدارة المركزية
للبحوث والمناخ

من المعروف أن الأمواج البحرية الفعلية التى نلمسها فى المحيطات والبحار معقدة التركيب ولذا سيتم مناقشة الأمواج التوافقية أولا وهذه الأمواج يمكن وصفها بأنها سلسلة من الأمواج المتوازية ذات القمم الملساء والمتساوية فى الارتفاع وقمم هذه الأمواج تبعد عن بعضها بمسافات متساوية وتسير بسرعة ثابتة فى اتجاه عمودى على القمة وهذه الأمواج تمثل التكوين الأولى للأمواج البحرية بالإضافة إلى أنها تشابه أمواج التموج البحرى و شكل (١) يوضح الأمواج التوافقية البسيطة حيث أن الأسهم المرقمة من ١ إلى ٤ بداخل الشكل تدل على اتجاه حركة جزيئات الماء أثناء تقدم الموجه Progress of wave



(شكل١) الأمواج التوافقية البسيطة



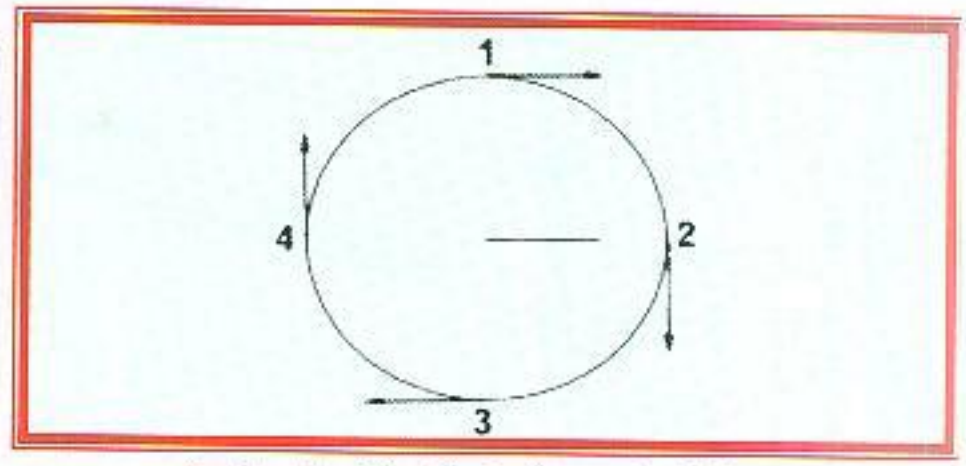
(شكل ٢) عناصر الموجة البحرية

وبهبوب الرياح فوق سطح البحر يبدأ تكون الأمواج البحرية وشكل ٢ يوضح عناصر الموجة البحرية

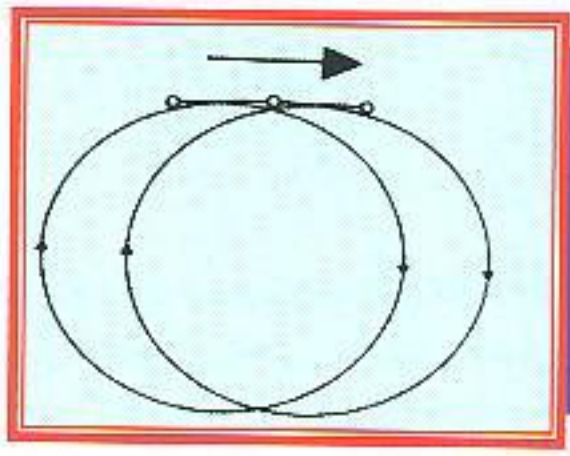
وبدراسة شكل (٢) يمكن توضيح التعاريف التالية:

١- قمة الموجة Crest Wave:
هى أعلى نقطة لجزيئات الماء أثناء تقدم الموجة البحرية.

٢- قاع الموجه Trough Wave:
هى أدنى نقطة لجزيئات الماء أثناء تقدم الموجة البحرية.



(شكل٣) حركة جزيئات الماء السطحية



(شكل٤) الإزاحة الأمامية لجزيئات الماء السطحية أثناء حركة الأمواج

٣- ارتفاع الموجه Wave Height(H):
هو المسافة الرأسية بين قمة الموجة وقاع الموجة.

٤- طول الموجة Wave Length (L):
هو المسافة الأفقية بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتالين.

٥- فترة الموجة Wave Period (T):
هى الفترة الزمنية بين مرور قمتين متتاليتين بنقطة ثابتة.

٦- سرعة الموجة Wave Speed (C):
هى السرعة التى تتقدم بها قمم الموجة ($C = L/T$)

٧- انحدار الموجة
Wave Steep (H/L):
هو النسبة بين ارتفاع الموجة وطول الموجة ومن المعروف أن الموجة لا يمكنها أن تتحمل انحدار موجى أكبر من ١/٧ أى أن الموجة البحرية تبدأ فى التكسر عندما يكون H/L أكبر من ١/٧

ويمكن استخدام العلاقة الرياضية التالية لجميع الأمواج الدورية المتلاحقة

طول الموجة = سرعة الموجة X فترة الموجة أى أن $L = C \times T$

حركة جزئيات الماء تحت تأثير الرياح

١- حركة جزئيات الماء السطحية:

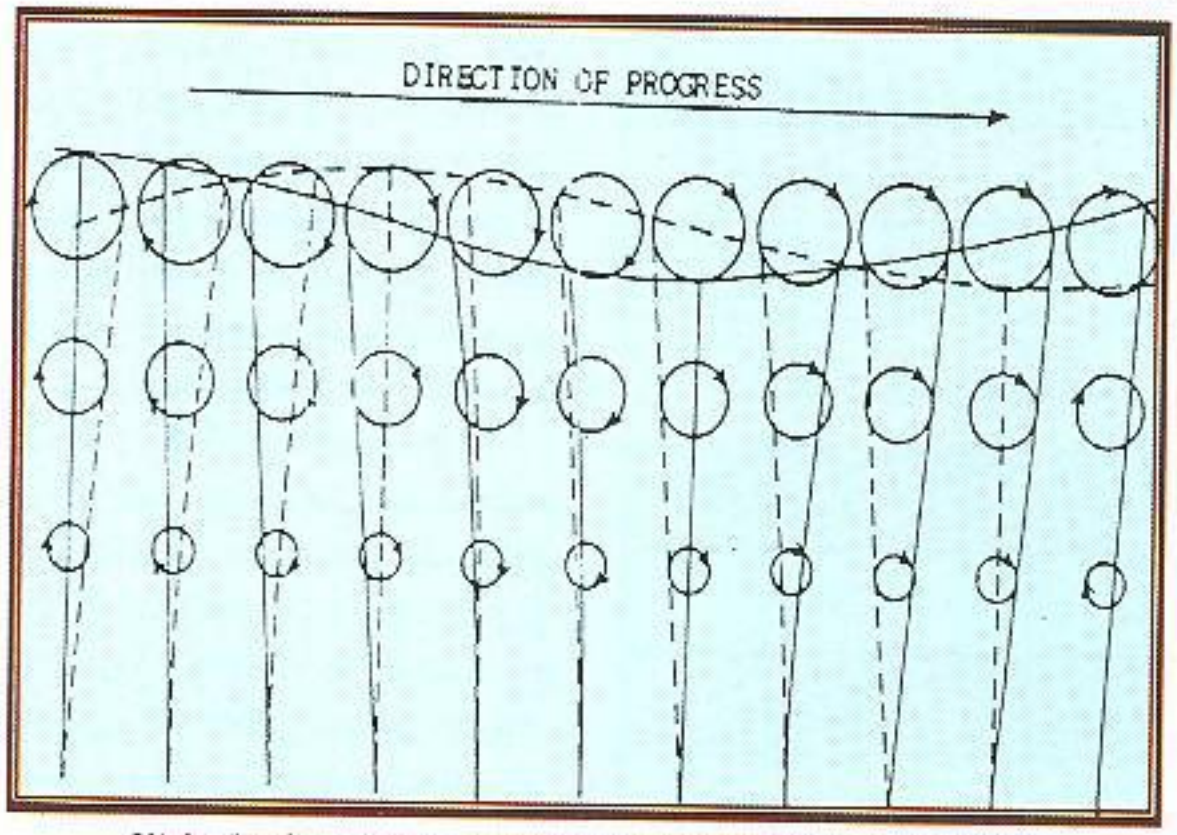
من المعروف أنه عندما تتقدم الأمواج خلال سطح البحار والمحيطات فإن جزيئات الماء السطحية تتحرك إلى أعلى وإلى أسفل ويصنع جزيئى الماء مسارا دائريا وتكون الحركة كما فى شكل ٣ كالآتى: حركة للأمام مع القمة (١) - حركة لأسفل عند ابتعاد القمة (٢) - حركة للخلف مع القاع(٣) - حركة لأعلى عند اقتراب القمة (٤). وفى النهاية لا يعود جزيئى الماء إلى النقطة التى بدأ منها حركته ولكن توجد إزاحة قليلة للأمام (ش٤) ولهذا يوجد للأمواج البحرية طاقة حركة (حركة أفقية) وطاقة وضع (حركة رأسية) وعموما فإن نصف طاقة الأمواج تعتبر طاقة وضع ونصفها الآخر يعتبر طاقة حركة ويمكن حساب طاقة حركة الأمواج بالمعادلة التالية:

طاقة حركة الأمواج = $(1/8)\ pgH^2$

حيث أن P هى كثافة ماء البحر ، g هى عجلة الجاذبية الأرضية ، Hهى ارتفاع الموجة

٢- حركة جزيئات الماء مع الأعماق:

عند السطح يصنع جزيئى الماء مسارا دائريا قطره يساوى ارتفاع الموجه H ويقل هذا القطر الدائرى كلما تعمقنا لأسفل وعند عمق يساوى نصف طول الموجة ١/٢L، فإن قطر مسار جزئى الماء يساوى ٠,٠٤ H وعند عمق أكبر من نصف طول الموجة يمكن إعتبار أن الماء ساكن خالى من الأمواج (ش٥)

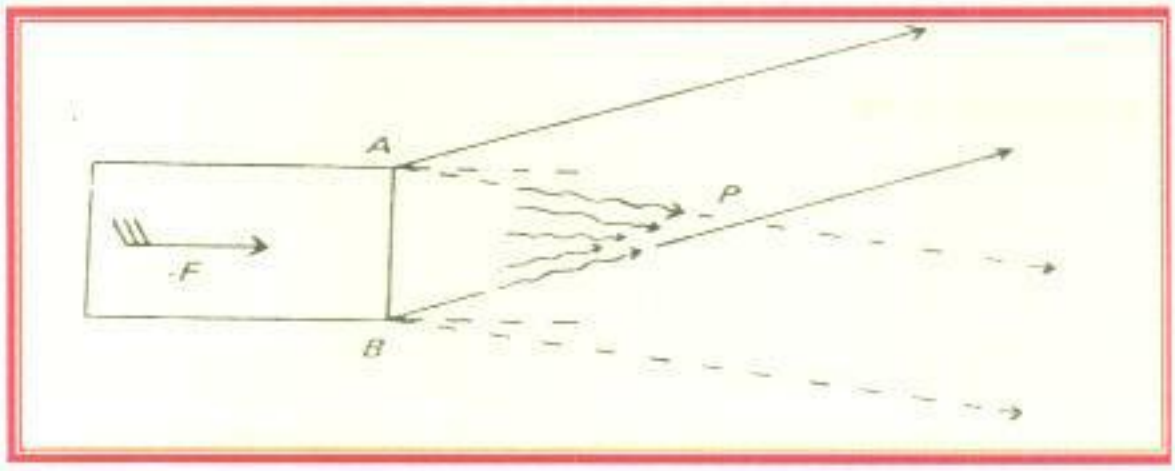


(شكل ٥) حركة جزيئات الماء تحت تأثير الرياح عند السطح وفى أعماق مختلفة

الأمواج البحرية
Sea Waves
والتموج البحرى
SWAII

الأمواج البحرية Sea Waves هى الأمواج التى تنشأ بفعل الرياح فى نفس مكان الرصد وتكون تقريبا فى نفس اتجاه الرياح بينما التموج البحرى Swell هى مجموعة الأمواج التى ترصد بعيدا عن مجال الرياح التى سببت الأمواج أى أمواج بفعل رياح فى مكان بعيد عن منطقة تكوّن الأمواج كما يمكن تعريف التموج البحرى بانها الأمواج التى تنشأ بفعل رياح فى نفس المكان وتلاشت الرياح ولكن الأمواج ظلت موجودة وأمواج التموج البحرى تصنع زاوية مع اتجاه الرياح وأحيانا توجد مجموعتان من التموج البحرى تتحركان بزاويتين مختلفتين وهذه الأمواج عند رصدها تعرف بالتموج البحرى المتقاطع وغالبا تتواجد الأمواج الناتجة عن الرياح والتموج البحرى فى نفس المكان ولكنها تأتى من اتجاهات مختلفة وارتفاع موج مختلف وفترة موج مختلفة.وشكل(٦) يوضح الأمواج البحرية فى منطقة الرياح F وأمواج التموج البحرى بعد ترك منطقة الرياح المحددة بالخط AB فى الموقع p

وقد اتفق دوليا على استخدام الاصطلاحات الموضحة بالجداول أولا وثانيا وثالثا فى وصف الأمواج البحرية Sea Waves والتموج البحرى Swell فى رسائل الأحوال الجوية والتنبؤات الجوية للسفن والناقلات.



(ش٦) مناطق تكون الأمواج البحرية ومناطق تكون التموج البحرى

أولا : بالنسبة لارتفاع الأمواج البحرية :Sea Waves Height

English Description	الوصف بالعربي	الارتفاع
Calm glassy	ساكن زجاجي	صفر
Calm Rippled	ساكن مرتعش	0 – 0. 1 متر
Smooth (Wavelets)	هادئ	0. 1 - 0. 5 متر
Slight	خفيف	0. 5 – 1. 25 متر
Moderate	معتدل	1. 25 – 2. 5 متر
Rough	مضطرب	2. 5 – 4 متر
Very rough	مضطرب جدا	4 – 6 متر
High	عالي	6 – 9 متر
Very high	عالي جدا	9 – 14 متر
Phenomenal	هائج	اكبر من 14 متر

ثانيا : بالنسبة لارتفاع التموج البحرى :Swell Height

English Description	الوصف بالعربي	الإرتفاع
Low	منخفضة	٠ – ٢ متر
Moderate	معتدلة	٢ – ٤ متر
Heavy	ثقيلة (عالية)	أكبر من ٤ متر

ثالثا : بالنسبة لطول أمواج التموج البحرى :Swell Length:

طول موجة التموج البحري	الوصف بالعربي	English Description
٠ – ١٠٠ متر	قصيرة	Short
١٠٠ – ٢٠٠ متر	متوسطة	Average
أكبر من ٢٠٠ متر	طويلة	Long

تأثير التيارات البحرية على الأمواج البحرية

أولا : إذا كان اتجاه التيار البحرى فى نفس اتجاه الأمواج البحرية:

- ارتفاع الموجة يتناقص
- طول الموجة يزيد
- فترة الموجة لا تتأثر

ثانيا : إذا كان اتجاه التيار البحرى فى عكس اتجاه الأمواج البحرية:

- ارتفاع الموجة يزيد
- طول الموجة يتناقص
- فترة الموجة لا تتأثر

العوامل التى تؤثر على نمو الأمواج البحرية:

١- سرعة الرياح
Wind Speed (V)

٢- المسار البحرى للرياح Fetch (F)
وهى المسافة التى تقطعها الرياح فوق سطح البحر من مصدرها حتى وصولها إلى النقطة المراد حساب ارتفاع الموج عندها.

٣- زمن هبوب الرياح
Duration of the wind
وهو الزمن الذى تستغرقه الرياح للهبوب فوق سطح البحر من مصدرها حتى وصولها إلى النقطة المراد حساب ارتفاع الموج عندها

٤- عمق البحر : Water Depth (d):
ومن المعروف أنه كلما كان المسار البحرى للرياح كبير وزمن هبوب الرياح كبير كلما كان ارتفاع الموج كبير.

الأمواج البحرية فى المياه العميقة Deep Waves والمياه الضحلة : Shallow Waves

يمكن التمييز بين أمواج المياه الضحلة وأمواج المياه العميقة على النحو التالى:

- تعتبر الأمواج البحرية أمواج مياه ضحلة إذا كانت النسبة بين عمق الماء d وطول الموجة L أقل من ١/٢٥ أى أن d/L أقل من ١/٢٥
- تعتبر الأمواج البحرية أمواج مياه عميقة إذا كانت النسبة بين عمق الماء d وطول الموجة L أكبر من ٢/١ أى أن d/L أكبر من ١/٢

وتتحرك الأمواج البحرية بسرعة C فى المياه العميقة ويمكن حساب سرعة أمواج المياه العميقة بالمعادلة التالية:

$$C = \sqrt{g(L/2\prod)\tanh 2\prod(d/L)}$$

حيث أن g هى عجلة الجاذبية الأرضية ,L طول الموجة ,d عمق الماء بينما tanh 2II هى الظل الزائدى للزاوية 2II

ويعتبر الماء عميقا إذا كان عمقه d يزيد عن ١/٢ طول الموجه السطحية L أى أن d/L أكبر من ١/٢ –

إذا كان d/L = 1/2 فإن

$$C = \sqrt{g(L/2\prod)\tanh \prod}$$

وحيث أن tanh II = 0.99

لذلك فإنه فى حالة d/L أكبر من ١/٢ فإن

$$C = \sqrt{g(L/2\prod)}$$

$$C = \sqrt{9.8\,(L/6.28)}$$

$$C = \sqrt{1.56L}$$

$$C^2 = 1.56\,L$$

وحيث أن L = C X T فيمكن استنتاج أن $C^2 = 1.56\,(C \times T)$

وبذلك يمكن حساب سرعة الأمواج السطحية فى المياه العميقة بالعلاقة التالية:

$$C = 1.56\,T$$

حيث أن C هى سرعة الأمواج السطحية فى المياه العميقة (مقاسه بالمتر / ثانية)، T هى فترة الأمواج البحرية (مقاسه بالثانية)

وحيث أن L = C X T فيمكن استنتاج أن

$$L / T = 1.56\,T$$

وبذلك يمكن حساب طول الموجة السطحية فى المياه العميقة بالعلاقة التالية:

$$L = 1.56\,T^2$$

حيث أن L هى طول الموجة البحرية (مقاس بالمتر) ،Tهى فترة الأمواج البحرية (مقاسه بالثانية)

نمو واضمحلال الأمواج البحرية

الناتجة عن الرياح: يمكن تلخيص نمو واضمحلال الأمواج الناتجة عن الرياح على الوجه التالى:

- عندما تهب الرياح فوق سطح البحار والمحيطات تنتقل طاقة الحركة من الرياح إلى البحار والمحيطات ويستهلك جزء صغير من هذه الطاقة فى تكوين التيارات البحرية بينما يستخدم الجزء الأكبر من طاقة الرياح فى تكوين الأمواج البحرية.
- عندما يكون البحر ساكنا والرياح على وشك أن تشتد فإن أول شىء يتكون هو الأمواج الحلزونية.
- عندما تبدأ سرعة الرياح فى النشاط حتى تصل إلى ١٣ عقدة

يبدأ ارتفاع وطول الموجة البحرية فى الزيادة وتبدأ قمم الأمواج البيضاء فى الظهور.

- باستمرار الرياح فى النشاط وزيادة سرعة الرياح فإن ارتفاع الموجة البحرية يزيد ويصبح أكبر ما يمكن.
- عندما تستمر الرياح فى الهبوب تبدأ الموجة البحرية فى التكسر وتبدأ قممها البيضاء فى الهبوب على شكل موجات أطول وفى هذه الحالة تتساوى الطاقة المفقودة بواسطة الأمواج مع الطاقة المكتسبة من الرياح.
- عندما تكون الطاقة المكتسبة من الرياح أقل من الطاقة المفقودة بواسطة الأمواج فإن ارتفاع الموجة البحرية يقل وتبدأ الأمواج البحرية فى الاضمحلال والتلاشى.

ومن المعروف أن اتجاه الأمواج البحرية يتم تحديده بواسطة اتجاه الرياح وبصفة عامة ففى البحر يكون اتجاه الأمواج البحرية مماثل لخطوط الايسوبارات.

تكسر الأمواج
Break ing Waves

عندما تصل الأمواج البحرية إلى منطقة يقل فيها عمق الماء فى اتجاه الشاطئ فإن الأمواج البحرية تتحول من أمواج مياه عميقة إلى أمواج مياه ضحلة وينتج من ذلك أن ارتفاع الموجة يزداد وسرعة الموجة يقل. وكلما اقتربت الأمواج البحرية من مناطق ذات عمق أقل يصبح ارتفاعها أكبر ما يمكن وتقل استقرارها وتبدأ الأمواج البحرية فى التكسر Breaksمكونة ما يعرف بمنطقة السيرف surf ش٧

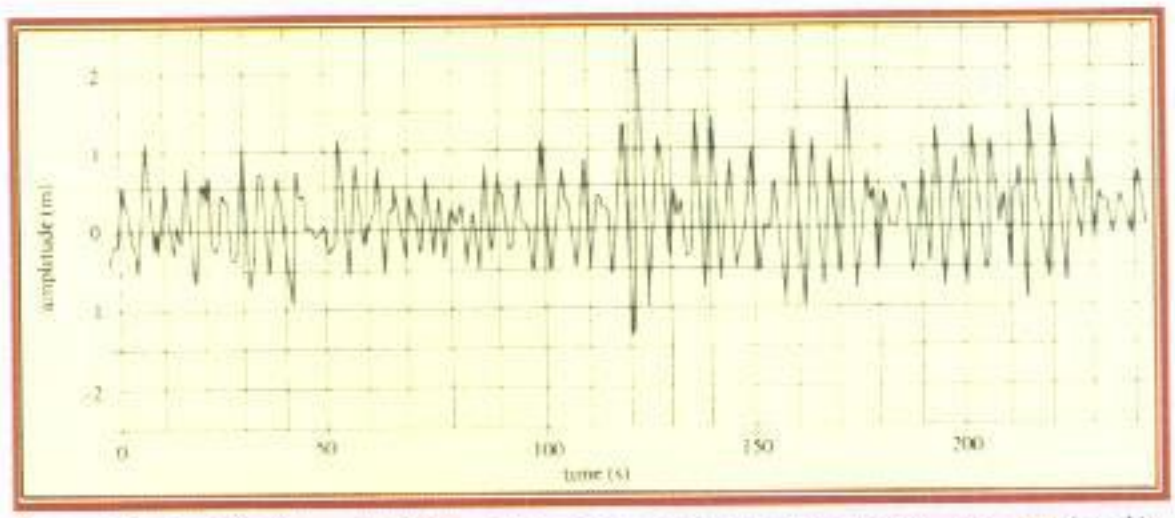
انكسار الأمواج
Waves Refraction :

من المعروف أن سرعة الأمواج البحرية فى المياه العميقة تختلف عن سرعتها فى المياه الضحلة وكلما اقتربت الأمواج البحرية من الشاطئ تبدأ الأمواج فى الانكسار وباقترابها أكثر من الشاطئ فإن الأمواج تنحرف وتكون قممها فى النهاية موازية لخط الساحل.

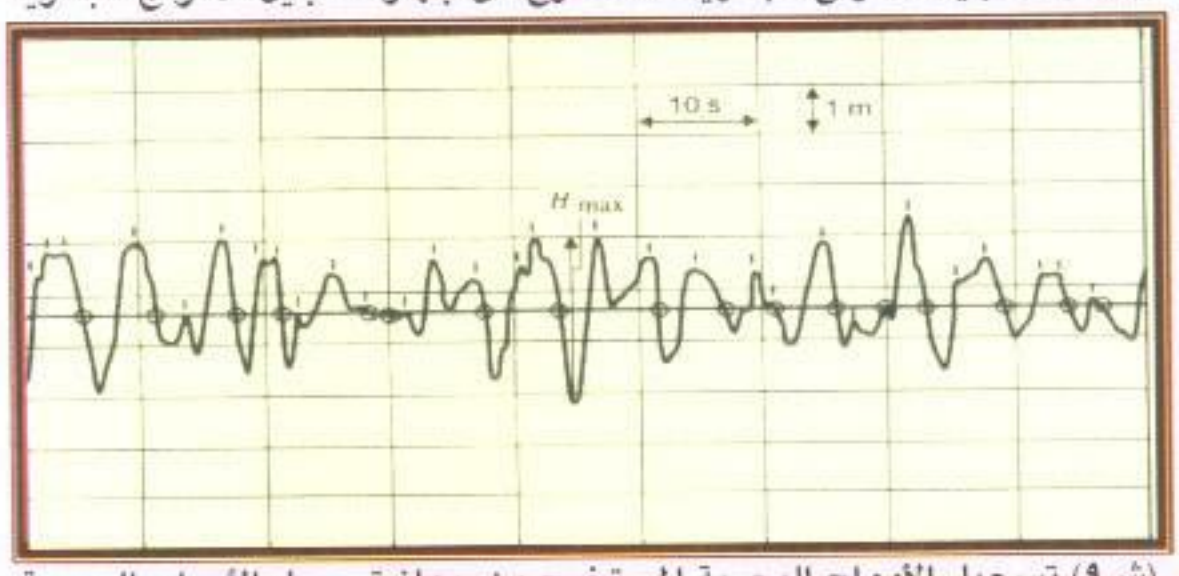
(ش٧) تكسر الأمواج

قياس الأمواج البحرية
Wave Measutement

يتم قياس الأمواج البحرية بواسطة جهاز يعرف بمسجل الأمواج البحرية Wave Re-corderوشكل ٨ وشكل ٩



(ش٨) تسجيل الأمواج البحرية المستخرج من جهاز تسجيل الأمواج البحرية



(ش٩) تسجيل الأمواج البحرية المستخرج من جهاز تسجيل الأمواج البحرية

يوضحان تسجيل الأمواج البحرية المستخرج من جهاز تسجيل الأمواج البحرية حيث يمثل المحور الأفقى الزمن بالثانية و يمثل المحور الرأسى ارتفاع الموجة البحرية بالمتر ويلاحظ فى شكل ٩ أن الشرط الصغيرة تمثل قمم الأمواج بينما الدوائر الصغيرة تمثل نقط الصفر فى التسجيل. وبدراسة هذا التسجيل يتبين أن ارتفاع الأمواج البحرية يتعرض لتغيرات كثيرة وغير منتظمة وعند معرفة ارتفاع الأمواج من هذا التسجيل يتم إيجاد ما يعرف بالارتفاع المعنوى للأمواج البحرية Significant Wave Height ($H_{1/3}$) ويعرف الارتفاع المعنوى للأمواج البحرية ($H_{1/3}$) بأنه متوسط ارتفاع الثلث الأعلى من الأمواج البحرية فى التسجيل.

العلاقة بين ارتفاع الأمواج البحرية وسرعة الرياح

نتيجة الدراسات والبحوث التى تمت لإيجاد العلاقة بين ارتفاع الأمواج البحرية وسرعة الرياح وجد العديد من العلاقات الرياضية ومنها على سبيل المثال وليس الحصر وهى:

(1) $H_{1/3} = 0.02 \quad V^2$

(2) $H_{1/3} = 0.0133 \quad V^2$

(3) $H_{1/3} = 0.0233 \quad V^2$

(4) $H_{1/3} = 4.4264 \times 10^{-3} \ (V_{7.5})^{2.5}$

(5) $H_{1/3} = 0.0182 \quad (V_{19.5})^2$

حيث أن $H_{1/3}$ هى ارتفاع الموجة بالقدم، V هى سرعة الرياح بالعقدة عند ارتفاع ١٠ متر ، $V_{7.5}$ هى سرعة الرياح بالعقدة عند ارتفاع ٧,٥ متر بينما $V_{19.5}$ سرعة الرياح بالعقدة عند ارتفاع ١٩,٥ متر

(6) $H_{1/3} = 2.14 \times 10^{-2} \ (U_{19.5})^2$

حيث أن $H_{1/3}$ هى ارتفاع الموج بالمتر بينما $U_{19.5}$ سرعة الرياح بالمتر / ثانية عند ارتفاع ١٩,٥ متر.

وحيث أن سرعة الرياح تقاس بصفة عامة عند ارتفاع ١٠ متر فالمعادلة التالية توضح العلاقة بين سرعة الرياح المقاسة عند ارتفاع ١٠ متر والرياح التى تقاس عند أى ارتفاع h .

$$V_{10} = \frac{U_h}{1 + 0.1726 \ \mathrm{Log}\ (h/10)}$$

حيث أن U_{10} هى سرعة الرياح عند ارتفاع ١٠ متر وحيث أن U_h هى سرعة الرياح عند ارتفاع h متر

التنبؤ بارتفاع الأمواج البحرية
Wave Forecasting

التنبؤ بارتفاع الأمواج البحرية يحتاج لدقة كبيرة ويتم التنبؤ بارتفاع الأمواج البحرية بطرق عديدة ومختلفة بعضها بسيط يستخدم العلاقات الرياضية بين سرعة الرياح وارتفاع الأمواج والبعض الآخر يتم إدخال عوامل أخرى بالإضافة لسرعة الرياح مثل المسار البحرى للرياح (الفتش Fetch) وفترة هبوب الرياح Wind duration والفرق بين درجة حرارة الهواء ودرجة حرارة الماء Sea temperature difference -Air

وهناك نماذج عددية للتنبؤ بارتفاع الأمواج البحرية Numerical Wave modeling تحتاج لكثير من العوامل الجو مائية ويتم استخدامها بواسطة الحاسب الآلى ويمكن الرجوع لكتاب Guide to Wave analysis and forecasting الذى أصدرته المنظمة العالمية للأرصاد الجوية فى عام ١٩٩٨ تحت رقم ٧٠٢ (No. 702- WMO)

لدراسة النموذج العددى الذى تضمنه هذا الكتاب. ويتم أيضا التنبؤ بارتفاع الأمواج البحرية باستخدام منحنيات خاصة وهناك الكثير من هذه المنحنيات التى تعتمد معظمها على سرعة الرياح فترة هبوب الرياح المسار البحرى للرياح - خط عرض النقطة المراد حساب ارتفاع الأمواج عندها وغيرها من العوامل ويوجد طرق كثيرة تعتمد على هذه المنحنيات منها الطريقة بكتاب المنظمة العالمية للأرصاد الجوية المشار إليه بعالية والطريقة التى تستخدم بواسطة البحرية الأمريكية والطريقة التى تستخدم بواسطة الأدميرالية البريطانية وغيرها من الطرق ومنها الطريقة الألمانية والتى تستخدم المنحنيات التى وضعها العالم الألمانى فالدن. وسيتم فى هذا الباب مناقشة حساب ارتفاع الأمواج البحرية بواسطة المنحنيات بثلاث طرق مختلفة (منحنيات المنظمة العالمية للأرصاد الجوية - منحنيات الألمانى فالدن- مقياس بيفورت)

التنبؤ بارتفاع وفترة الأمواج البحرية باستخدام منحنيات المنظمة العالمية للأرصاد الجوية

شكل ١٠ يوضح المنحنيات التى تضمنها كتاب Guide to Wave analysis and forecasting الذى أصدرته المنظمة العالمية للأرصاد الجوية فى عام ١٩٩٨ تحت رقم ٧٠٢ (No. 702 - WMO)

وهذه المنحنيات تشمل ما يأتى:

- المنحنيات يمثل المسار البحرى للرياح بالكيلومتر
  Fetch X in Km
- منحنى يمثل فترة الموجة البحرية بالثانية
  Wave period Tc
- منحنى يمثل سرعة الرياح بالمتر / ثانية
  Wind Speed u in m/s
- الخطوط الرأسية تمثل فترة هبوب الرياح بالساعة
  Wind duration in hours
- الخطوط الأفقية تمثل ارتفاع الموج المعنوى بالمتر
  Significant Wave height Hc in m ($H_{1/3}$)

وباستخدام المنحنيات الموضحة

بشكل ١٠ للتنبؤ بارتفاع الأمواج البحرية يتم ما يأتى:

١- يتم معرفة سرعة الرياح السطحية والمسار البحرى للرياح عند النقطة المراد تقدير ارتفاع الأمواج البحرية عندها.

٢- يحسب فترة هبوب الرياح.

٣- بواسطة سرعة الرياح والمسار البحرى يوجد نقطة تقاطعهما مع خط ارتفاع الأمواج فيتم معرفة ارتفاع الأمواج. ويوجد نقطة تقاطعهما مع خط فترة الأمواج فيتم معرفة فترة الأمواج

٤- بواسطة سرعة الرياح وفترة هبوب الرياح يوجد نقطة تقاطعهما مع خط ارتفاع الأمواج فيتم معرفة ارتفاع الأمواج. . ويوجد نقطة تقاطعهما مع خط فترة الأمواج فيتم معرفة فترة الأمواج

٥- يتم مقارنة ارتفاع الأمواج البحرية وفترة الأمواج البحرية التى تم حسابهم فى الخطوة ٣ والخطوة ٤ السابقتين ويتم اختيار أكبر قيمة منهما لارتفاع الأمواج البحرية **H** وكذلك أكبر قيمة منهما لفترة الأمواج البحرية **T** .

ولحساب قيمة طول الموجة البحرية L يتم استخدام المعادلة

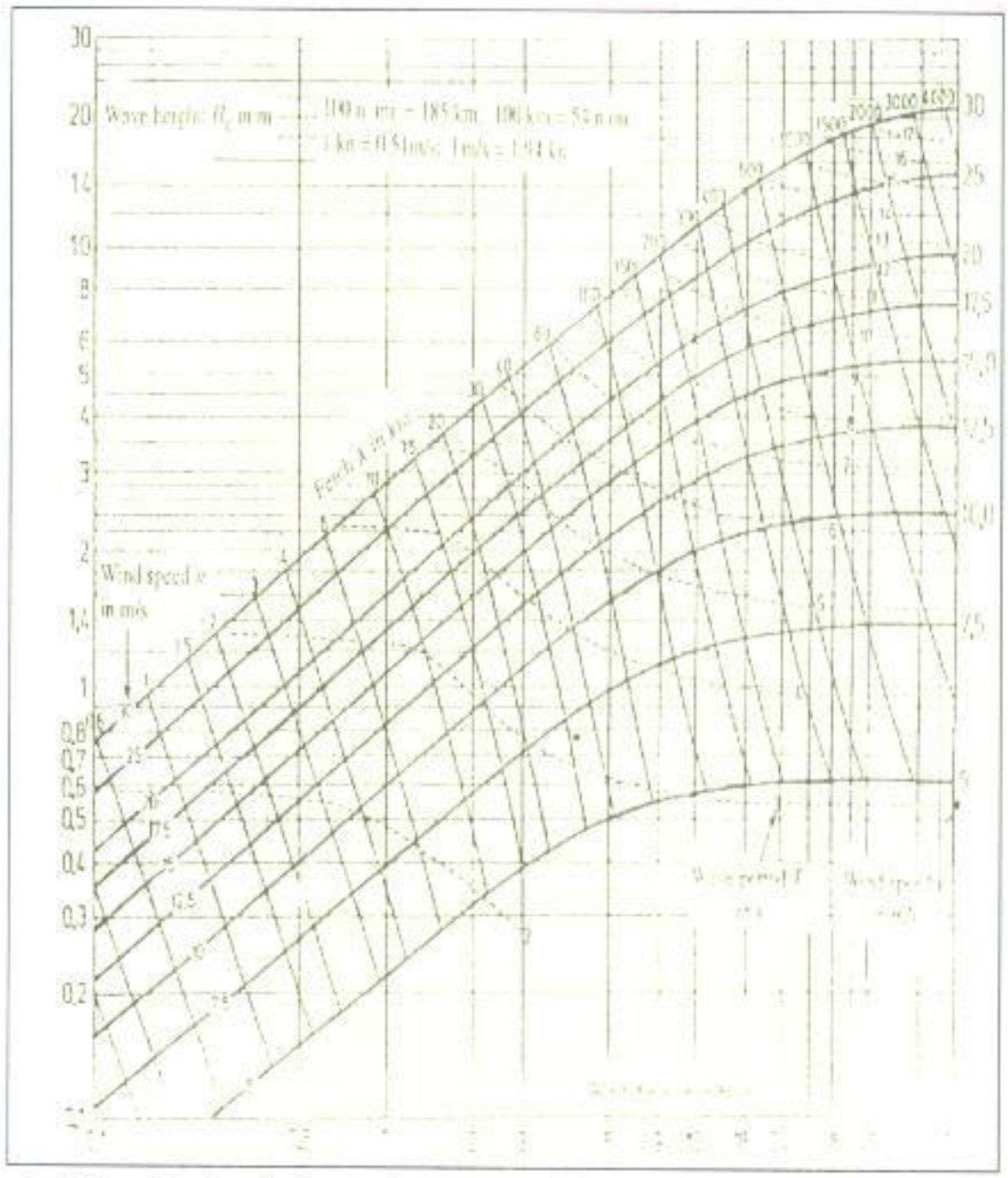
$$L = 1.56\ T^2$$

ولحساب قيمة سرعة الموجة البحرية C يتم استخدام المعادلة

$$C = 1.56\ T$$

التنبؤ بارتفاع وفترة الأمواج البحرية باستخدام منحنيات العالم الألمانى فالدن:

شكل ١١ يوضح المنحنيات التى وضعها العالم الألمانى فالدن للتنبؤ بارتفاع وفترة الأمواج البحرية وهذه المنحنيات تشمل ما يأتى:



(ش ١٠) التنبؤ بارتفاع وفترة الأمواج البحرية باستخدام منحنيات المنظمة العالمية للأرصاد الجوية

- منحنى يمثل المسار البحرى للرياح بالميل
  Fetch in Mile
- منحنى يمثل فترة الموجة البحرية بالثانية
  Wave period f
- منحنى يمثل سرعة الرياح بالعقدة
  Wind Speed V in Knots
- الخطوط الرأسية تمثل فترة هبوب الرياح بالساعة
  Wind duration in hours
- الخطوط الأفقية تمثل ارتفاع الموج المعنوى بالمتر
  Significant Wave height ($H_{1/3}$) in m

ولاستخدام منحنيات فالدن للتنبؤ بارتفاع وفترة الأمواج البحرية يتم اتباع نفس الخطوات السابق ذكرها فى التنبؤ بارتفاع وفترة الأمواج البحرية باستخدام منحنيات المنظمة العالمية للأرصاد الجوية وأيضا يتم اختيار أكبر قيمة لارتفاع الموجة البحرية **H** وأكبر قيمة لفترة الموجة البحرية **T** وعند حساب طول الموجة البحرية **L** يتم استخدام نفس المعادلة السابق ذكرها وهى

$$L = 1.56\ T^2$$

ولحساب فترة الموجة البحرية

مقياس بيفورت	سرعة الرياح بالعقدة	اسم الرياح	وصف حالة البحر	متوسط ارتفاع الأمواج بالمتر	ملاحظات
صفر	أقل من ١	هواء ساكن	ساكن زجاجي	صفر	ش ١٢
١	١ – ٣	هواء خفيف	ساكن مرتعش	صفر	ش ١٣
٢	٤ – ٦	نسيم خفيف	هادئ	٠,١ - ٠,٥	ش ١٤
٣	٧ – ١٠	نسيم لطيف	خفيف	٠,٥ – ١,٢٥	ش ١٥
٤	١١ – ١٦	رياح معتدلة	معتدل	١,٢٥ – ١,٧٥	ش ١٦
٥	١٧-٢١	رياح نشطة	معتدل	١,٧٥ – ٢,٥	ش ١٧
٦	٢٢ – ٢٧	رياح قوية	مضطرب	٢,٥ – ٤	ش ١٨
٧	٢٨ – ٣٣	عاصفة غير مكتملة	مضطرب جدا	٤ - ٦	ش ١٩
٨	٣٤ – ٤٠	عاصفة	عالي	٦ – ٩	ش ٢٠
٩	٤١ – ٤٧	عاصفة شديدة	عالي جدا	٩ – ١١	ش ٢١
١٠	٤٨ – ٥٥	زوبعة	عالي جدا	١١ - ١٤	ش ٢٢
١١	٥٦ – ٦٢	زوبعة مدمرة	هائج	أكبر من ١٤	ش ٢٣
١٢	١٤ فأكثر	إعصار	هائج	أكبر من ١٤	ش ٢٤

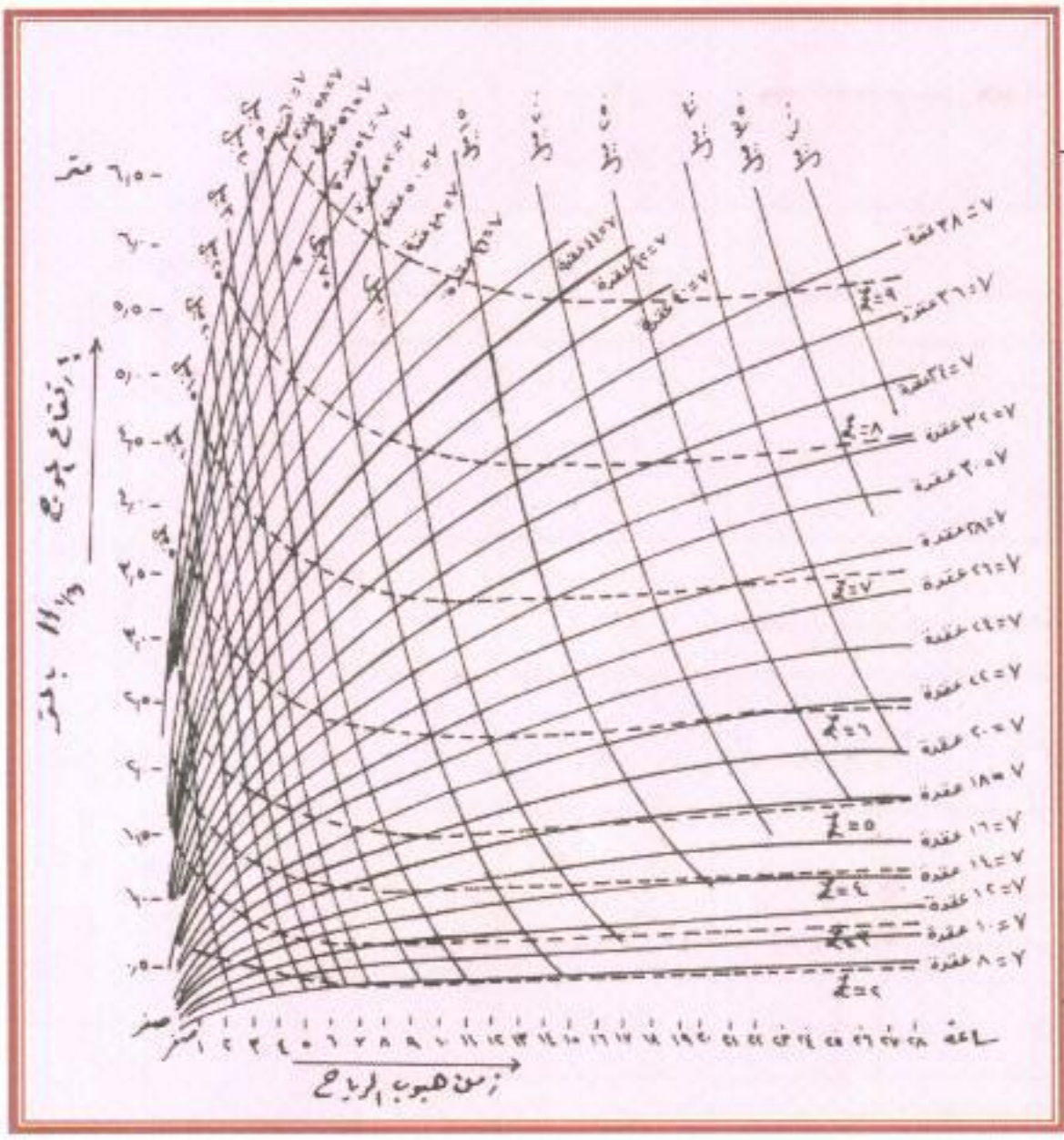
جدول رقم (١)

Tيتم استخدام نفس المعادلة السابق ذكرها وهى

$$L = 1.56\ T$$

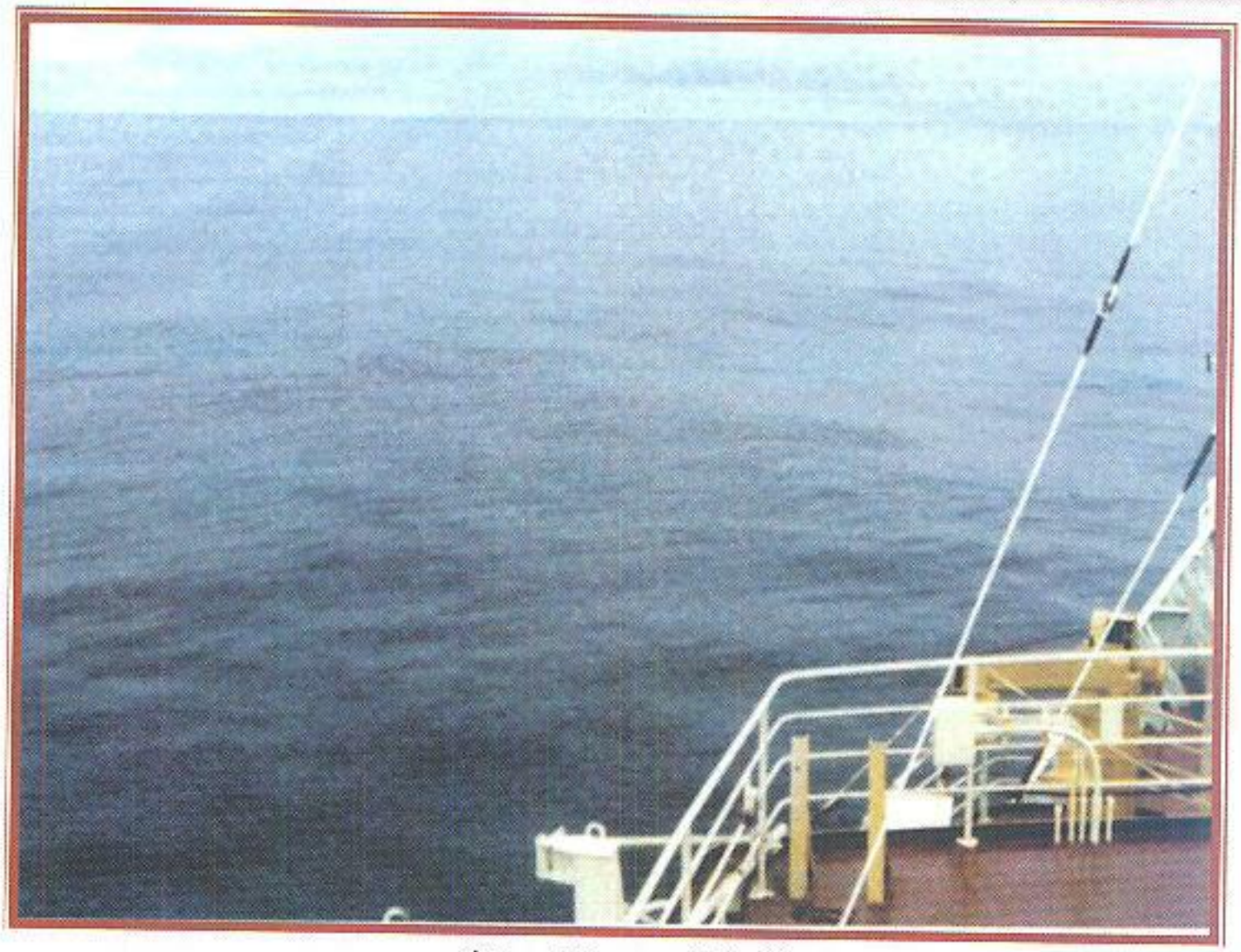
مقياس بيفورت والأمواج البحرية

إن أقدم علاقة معروفة توضح العلاقة بين قوة الرياح وحالة البحر هى مقياس بيفورت وهى العلاقة التى وضعت بمعرفة الأميرال السير بيفورت فى عام ١٨٠٥ والجدول رقم ١ يوضح العلاقة بين مقياس بيفورت وسرعة الرياح وحالة البحر ومتوسط ارتفاع الأمواج المتكون بالأمتار فى كل حالة. ومن المعروف أن هذه العلاقة تقديرية وليست دقيقة فى كل الأحوال وتطبق فقط فى البحر المفتوح ويراعى دائما معرفة ارتفاع الأمواج بدقة بواسطة رصد ارتفاع الأمواج البحرية وفى حالة تعذر الرصد يتم معرفة ارتفاع الأمواج البحرية بإحدى الطرق المعروفة للتنبؤ بالأمواج البحرية.

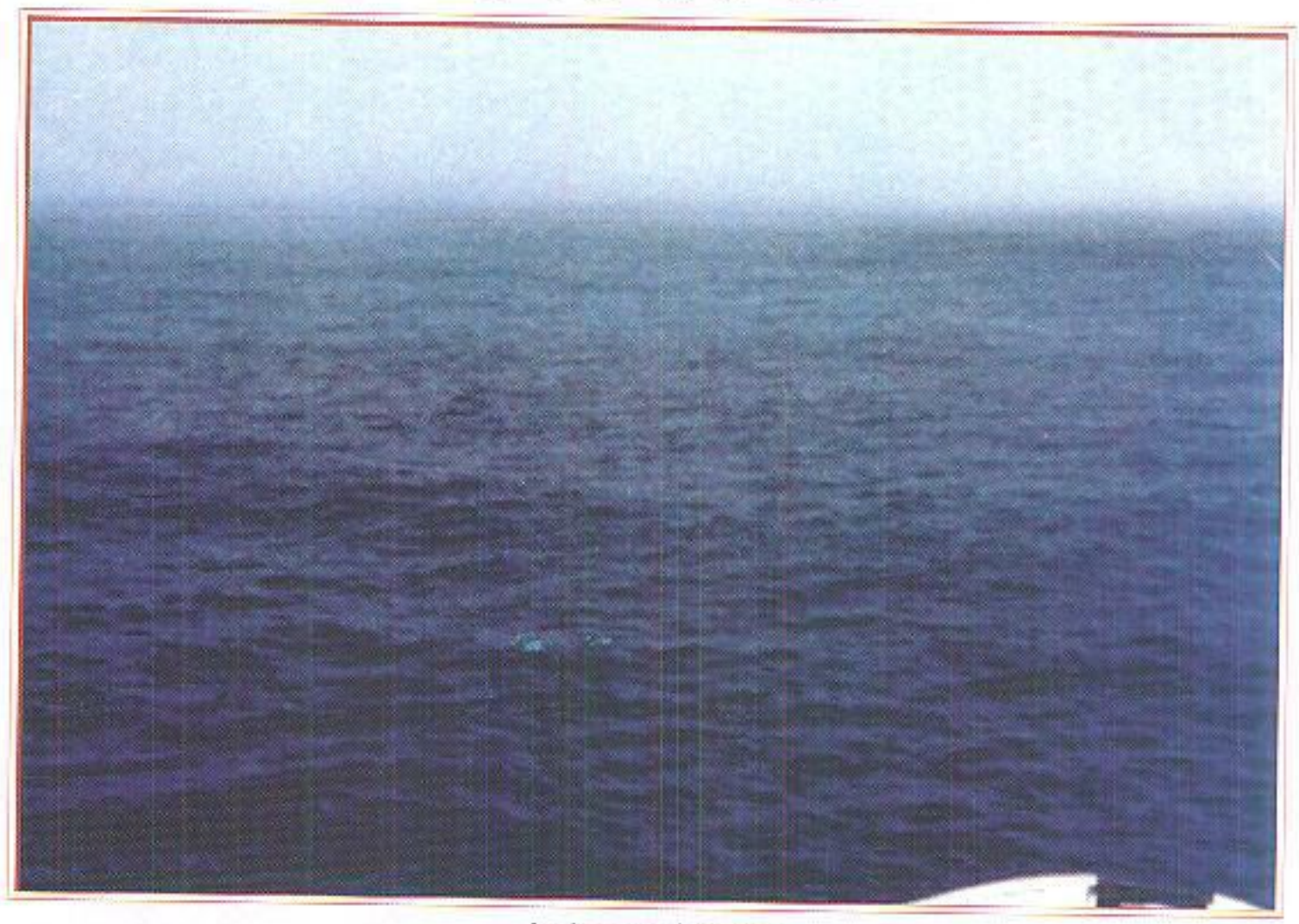


(شكل ١١) التنبؤ بارتفاع وفترة الأمواج البحرية باستخدام منحنيات العالم الألمانى فالدن

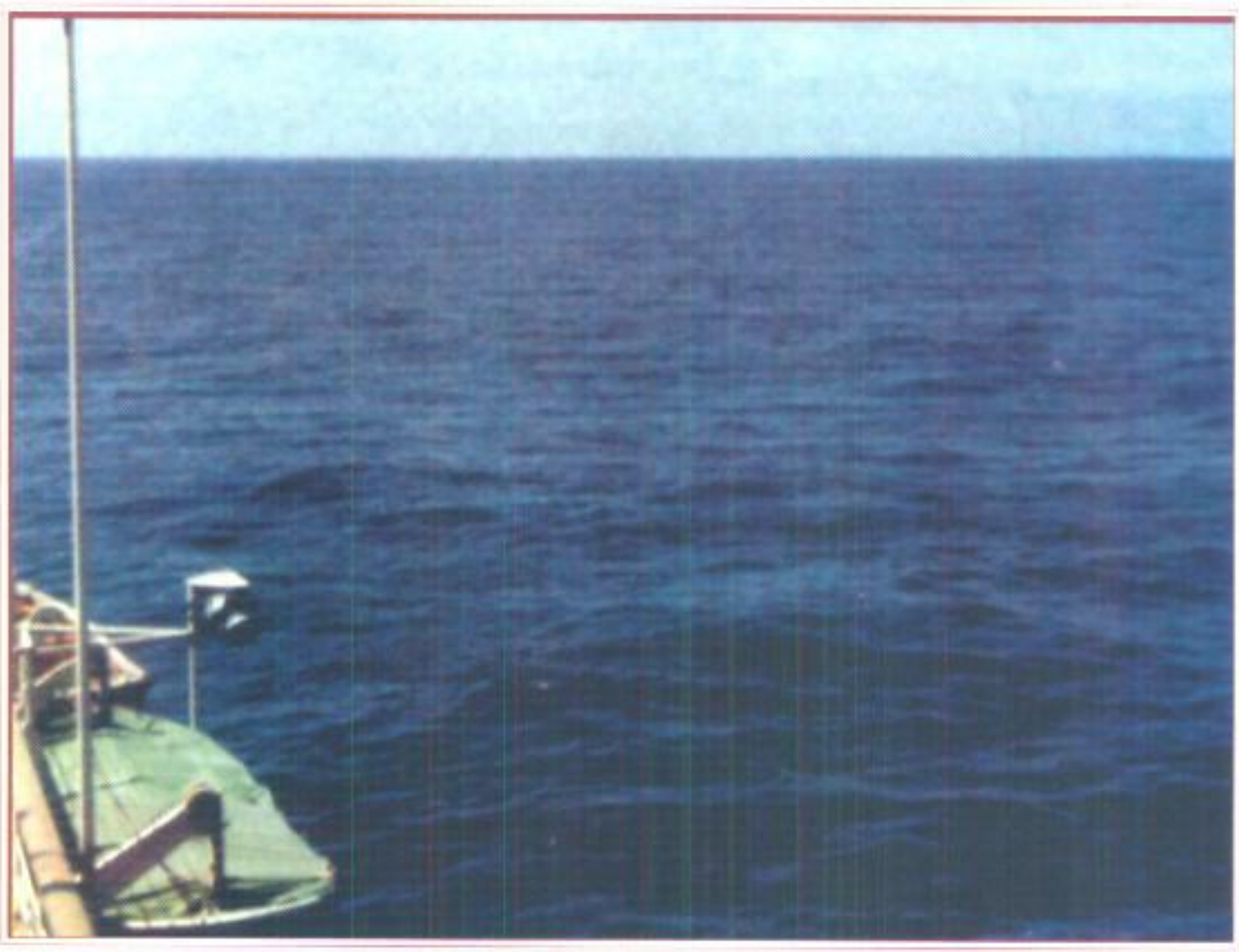
(شكل ١٢) بحر ساكن زجاجى



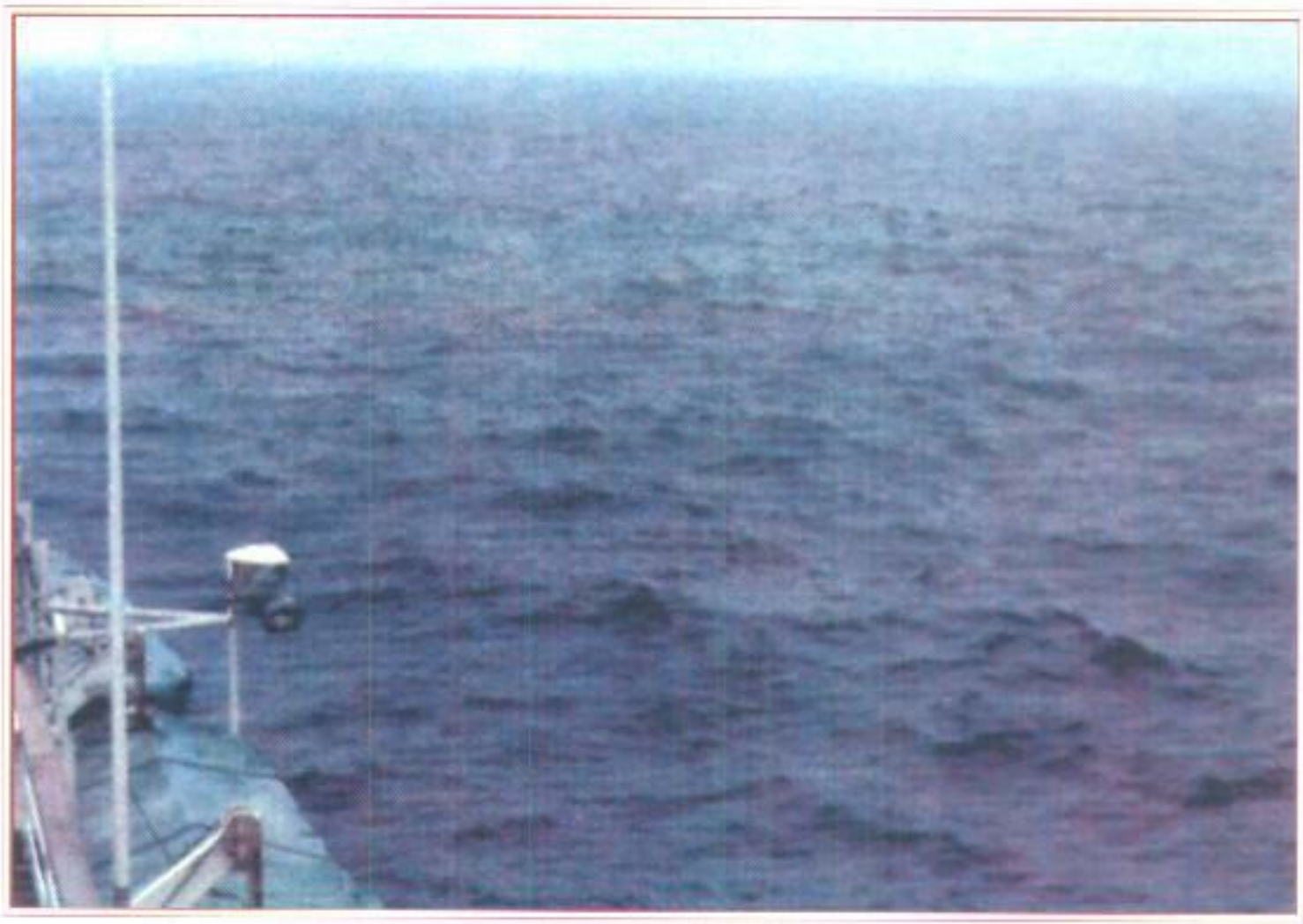
(ش ١٣) بحر ساكن مرتعش



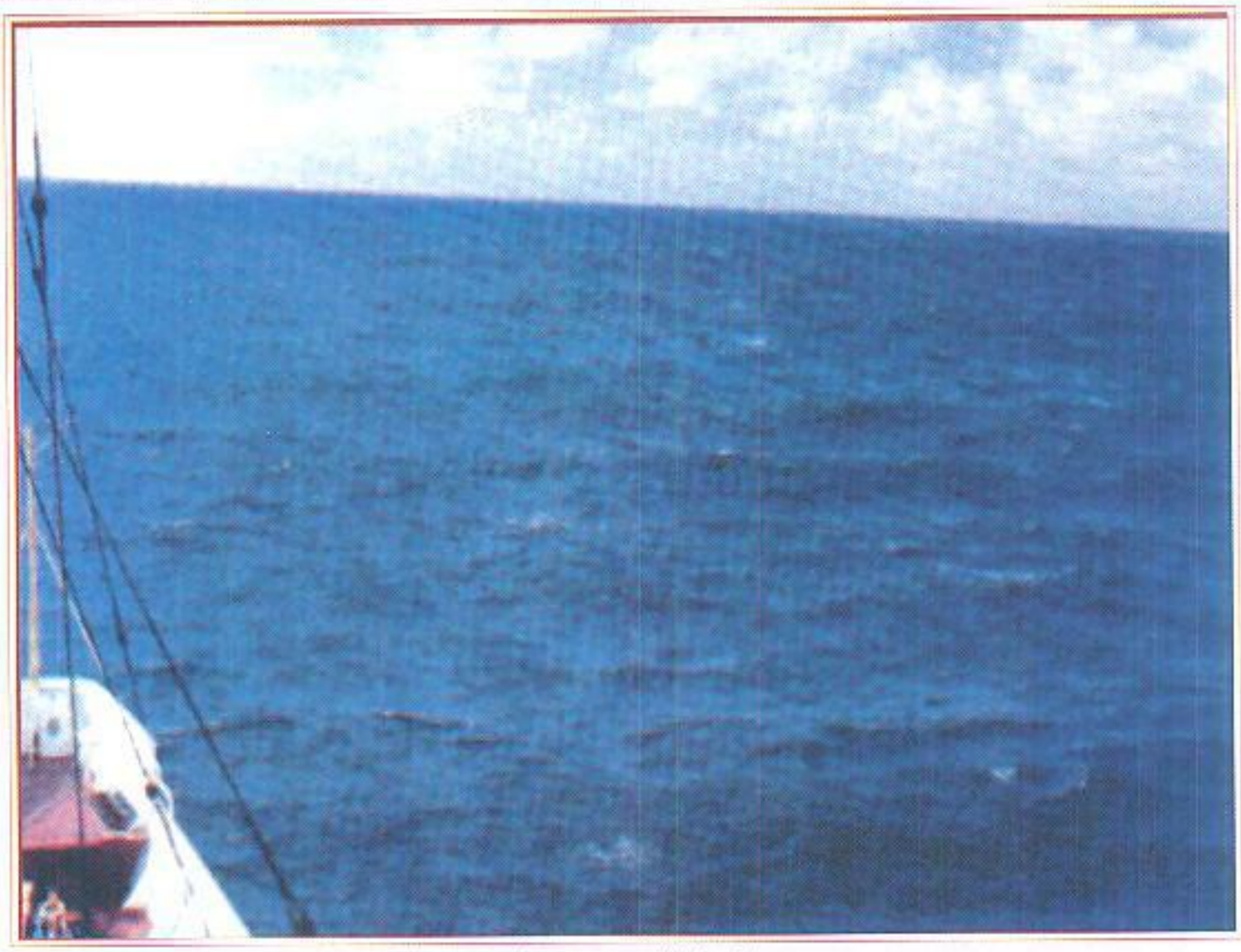
(ش ١٤) بحر هادئ



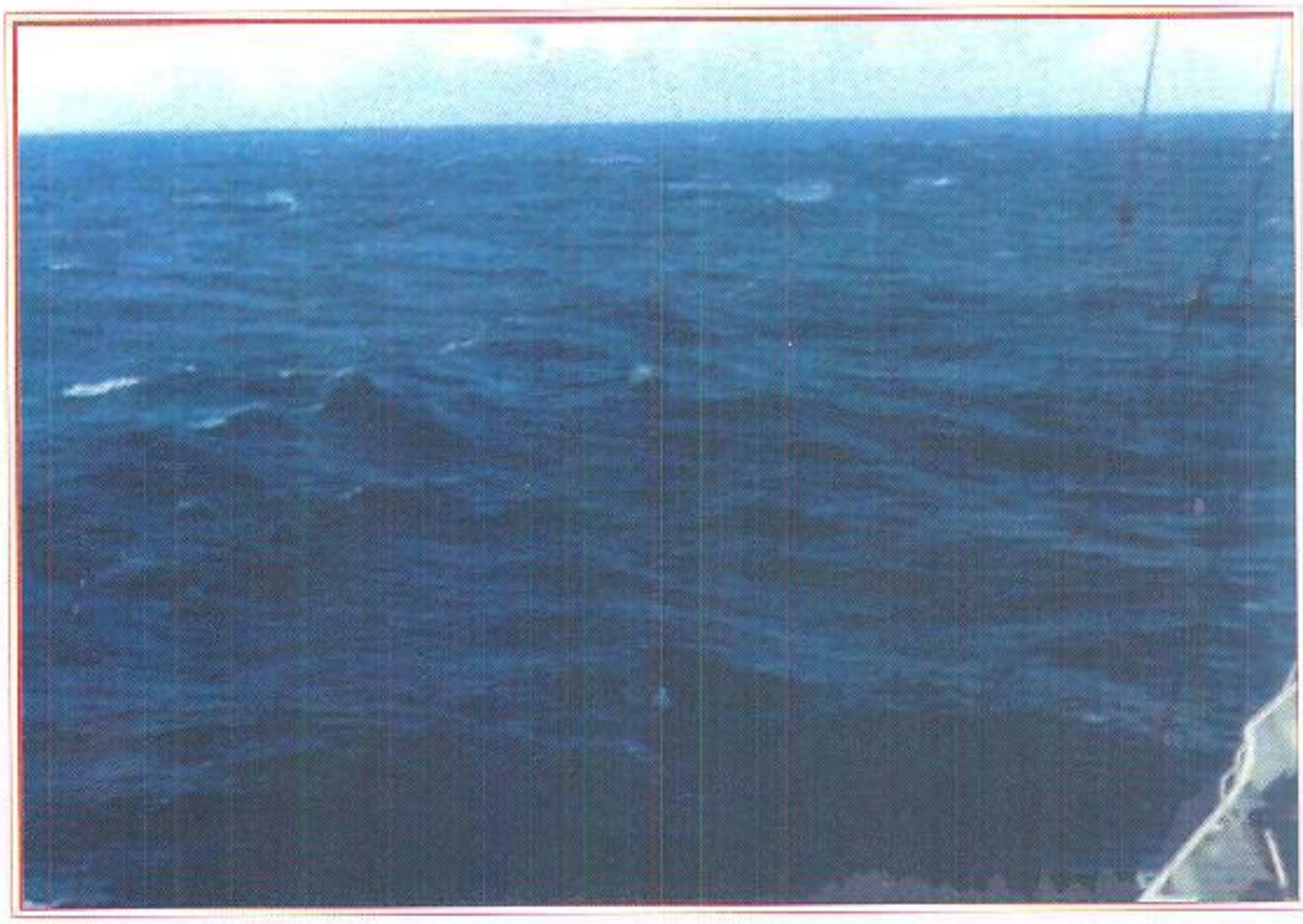
(ش ١٥) بحر خفيف



(ش ١٦) بحر معتدل



(ش ١٧) بحر معتدل



(ش ١٨) بحر مضطرب

(ش ١٩) بحر مضطرب جدا

(ش ٢٠) بحر عالى

(ش ٢١) بحر عالى جدا

(ش ٢٢) بحر عالى جدا

(ش ٢٣) بحر هائج

(ش ٢٤) بحر هائج