دراسة الأمواج

تعريف الأمواج :

◄ **الأمواج :** هي انتقال الحركة إلى الوسط المائي .
وتبعاً لمسبب الحركة نميز الأنواع التالية من الأمواج :

- أمواج الرياح
- أمواج المد والجزر
- أمواج تنتج عن تغير الضغط
- أمواج الزلازل
- أمواج تولدها حركة السفن

وتبعاً لقوى التي تحاول إعادة الموجة إلى وضع التوازن نميز الأنواع التالية :

- أمواج ثقيلة
- أمواج مرنة
- امواج بتأثير قوى التوتر السطحي

وكما ويوجد تصنيف آخر للأمواج حسب ارتباطها بالعامل المولد لها :

- أمواج قسرية : تقع في منطقة تأثير العامل المولد
- أمواج حرة : وهي الأمواج التي خرجن من منطقة تأثير العامل المولد لها ويمكن مصادفة تموج مشترك

وحسب توضع الأمواج في المستوى الشاقولي نميز:

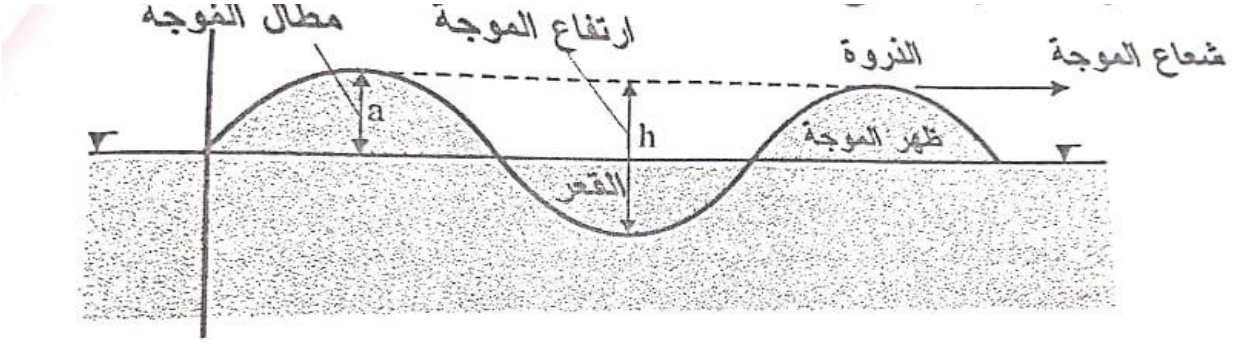
- سطحية (على السطح الحر للماء)
- داخلية (في عمق الماء)

أما حسب توضع الأمواج في الفراغ فنقسم الأمواج إلى :

- **ثنائية الأبعاد :** يكون ظهر الموجة لا متناهياً في الطول وأكبر بكثير من طولها وارتفاعها ثابتاً على كل طول ظهرها .

- **ثلاثية الأبعاد**

العناصر الأساسية للأمواج :



1- **الخط المتوسط :** هو الخط الذي يقسم مقطع الموجة إلى نصفين .
2- **ظهر الموجة :** هو القسم الواقع فرق الخط المتوسط من الموجة .
3- **وهدة الموجة :** هو القسم الواقع تحت الخط المتوسط من الموجة .
4- **ذروة الموجة :** هي أعلى نقطة من ظهر الموجة .
5- **قعر الموجة :** هي أخفض نقطة من وهدة الموجة .
6- **ارتفاع الموجة h :** وهو المسافة الشاقولية بين الذروة والقعر .
7- **مطال الموجة a** : $a = \frac{h}{2}$
8- **طول الموجة λ:** وهو أقصر مسافة بين ذروتين متتاليتين أو تمرين متتاليين
9- **العدد الموجي** : $k = \frac{2\pi}{\lambda}$
10- **دورالموجة** : وهو الزمن الذي تقطع فيه الموجة مسافة تساوي طولها .

سرعة انتشار الموجة :

- **جبهة الموجة** : وهو الخط الذي يمر من ذروة الموجة في المسقط .
- **شعاع الموجة** : هو الخط العمودي على جبهة الموجة باتجاه انتشارها .
- **قساوة الموجة** : هو نسبة ارتفاعها إلى طولها $\frac{h}{\lambda}$
- **انبساط الموجة :** هو نسبة الطول إلى الارتفاع $\frac{\lambda}{h}$

تولد وتطور الأمواج بسبب الرياح :

- تتولد الأمواج عن الرياح بسبب وجود نبضات مضطربة في تيـار الـهواء يتولد عنها دوامات مائية ذات سرعات $\lambda = 10^{-2} \rightarrow w = 0.6 \rightarrow 1m/sec$

إذا لم تهدأ الرياح فإن الأمواج تتصاعد مع ازدياد سـرعة الرياح وتتولد تموجات (الرقرقة) عند سرعة معينة نسميها السرعة الحرجة w

- إن ازدياد قيم عناصر الأمواج يحدث بسبب انتقال القدرة من الريـاح إلـى الأمواج وهناك نظريتان لتفسير تولد الأمواج وتطورها :

-نظرية التجارب .

-نظرية الانعكاس .

حسب مفهوم هاتين النظريتين تتولد الأمواج بتأثر المركبة الناظمية للضغط الناتجة عن الرياح ، وكلتا النظريتان تستخدمان النظرية الخطية للأمواج التي تفترض أن مطال الموجة اصغر بكثير من طولها وتفترض عدم انتقال كتلـة ماء الموجة بل تقر بانتقال قدرة الموجة فقط ، وفي حال تحرك مقطع الموجـة نسميها موجة انتقالية ، أما في حال عدم تحرك المقطع تكون الموجة طارقـة (تتولد نتيجة تراكب الموجة المباشرة والمنعكسة المتطابقين في التواتـر والمطال) .

وتوصل بيركن إلى علاقة تجريبية تربط بين ارتفاع الموجـة (h) وسرعة الرياح (w) (m/Sec)وزمن هبوب الرياح (t_w) بالساعة وامتـداد مسـافة تأثير الرياح (D) ب (Km).

- D: هي المسافة من الشاطئ إلى النقطة المدروسة في حال اتجاه الرياح من الشاطئ إلى البحر أو المسافة من منطقة تولد الرياح إلى النقطة المدروســة في حال تولد الرياح في عرض البحر

$$h = \frac{0.33.w.D.t_w}{(1+6.7.W)(t_w+1.86)}$$

-من العلاقة نجد أنه إذا كانت سرعة الرياح ثابتة ومسافة التأثير ثابتـة فيل تصاعد الأمواج ازدياد قيم عناصرها مع الزمن ينتهي بعد (0←7) ساعات ومنه نستنتج أن الأمواج تتصاعد بسرعة بتأثير الرياح.

- وبافتراض $w = const$ $\quad$ $\mathrm{tw} = const$ فإن الأمواج تتصاعد على مسافة حتى (Km 1000)

- إن ارتفاع الأمواج الناتجة عن الرياح الأقصى هو (20M→ 16) وبعدهـا يكون تصاعدها بطيئاً جداً بسبب الضياعات الكبيرة في قدرة الأمواج .

- تعطى سرعة انتشار الموجة بالعلاقة التالية :

$$C^2 = \frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi.F_w}{P_{wR}\,\lambda}$$

حيث :

P_{wR} : هي قوة التوتر السطحي للمياه .

F_w : احتمال ورود الرياح بسرعة ما .

إذا كانت الأمواج قصيرة وطول الموجة ($\gamma = 10^{-2} \rightarrow 10^{-3}\ M$) تأخذ العلاقة الشكل التالي:

$$C^2 = \frac{g\lambda}{P_b\lambda}$$

وعند ازدياد طول الموجة تتولد الأمواج الثقيلة ويصبح لدينا :

$$C^2 = \frac{g\lambda}{2\pi}$$

ان حد الانتقال إلى الأمواج الثقيلة هو عند الشروط التالية :

$$C_{min} = 23.2Cm\backslash Sec$$

$$\gamma_{min} = 1.72\ Cm$$

ثم يحدث تراكب الأمواج على بعضها .

وفي لحظة تشكل الأمواج تكون الأمواج ثلاثية الأبعاد (عشوائية) وتبدأ بالتحول إلى ثنائية الأبعاد عند خروجها من منطقة الرياح أو عند انتشارها في منطقة تتناقص فيها سرعة الرياح باستمرار وتتخامد الأمواج القصيرة المحدبة وتتحول إلى أمواج مسطحة (مجعدة) وهذا على الرغم من ارتفاعها القليل (h) فهي تملك قدرة كبيرة بفضل طولها الكبير.

وأهم خاصة تميز هذه الأمواج هي النسب $\frac{C}{W}$= 1 . ويمكن ملاحظة هذه الأمواج بشكلها السليم في البحار ويمكن تشكلها وبالعلاقة التالية:

تشكل الأمواج المجعدة : $\frac{h}{w^2} \geq 0.016$

الأمواج لا تتشكل $\frac{h}{w^2} < 0.016$

لدراسة الأمواج من الناحية الرياضية يجب أن تموز انتشارها في أمان غير مسودة العمق وأماكن محدودة العمق .

وقد صنف جينكوفسكي مناطق الشاطئ تبعا لطبيعة التموج فيها :

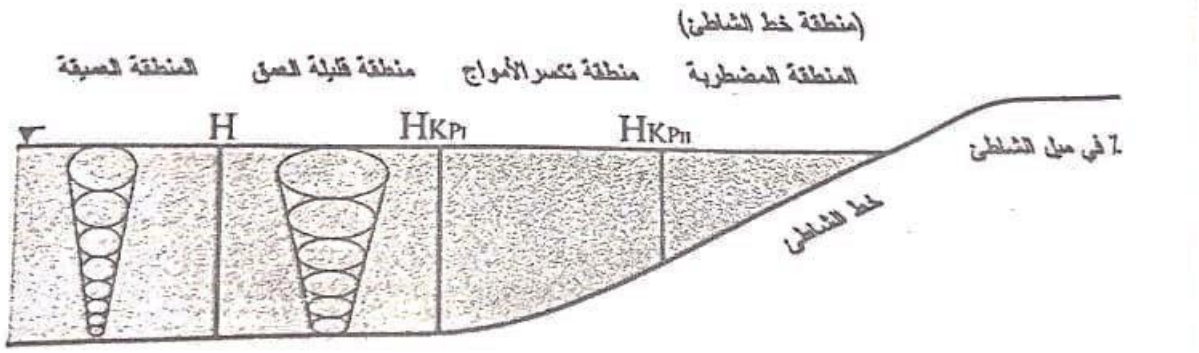
1- العميقة $H > \frac{\lambda.d}{2}$

2- القليلة العمق $H \leq \frac{\lambda.d}{2}$

حيث H عمق القاع

3- منطقة تكسر الأمواج

4- المنطقة المجاورة لخط الماء كما في الشكل



أولا : الأمواج في الأماكن العميقة :

إن نظرية الأمواج في الأماكن العميقة وجدت منذ 1804 من قال Gerstner التي لخصها في أربعة دساتير .

1- تنشأ الأمواج من حركات مسارية ، ترسم ذرات الماء دوائر بحركة منتظمة حول مركز ثابت وكل الذرات التي مركز حركتها يقع على شاقول واحد تشغل على مسارها الخامس بها ذرات الانفراج الزاوي .

2-إن خطوط التسوية في موجة تتكون من حركة نقطة متحركة على دائرة سرعة زاوية ثابتة ومحور هذه الدائرة أو مركزها ينتقل أيضا بسرعة ثابتة .

- إن الذرات التي تقع مراكز اهتزازها على خط أفقي تمثل في كل لحظة شكلاً يسمى تريخويد ، هذا المنحني يختلف شكله حسب نسبة السعة إلى القمر .

والقعر بصورة عامة أطول من الدروة (يجري القياس في المنسوب الوسطي البحر الذي يعلو منسوب التوازن بمقدار $\frac{\pi.h^2}{2\lambda}$)

3- إن نصف قطر المسارات يتناقص حسب سلسلة هندسية مع العمق الذي يزداد خطياً ونصف القطر هذا يساوي h في سطح الماء فإذا كانت H تمثل العمق فإن نصف القطر يعطى بالعلاقة :

$$r = h\,.\,e_{\lambda}^{\pi}.z$$

ان r ينعدم نظرياً عندما ∞= H أما عملياً فيكفي العمق $25.m$أو $50.m$.

4-إن طول الموجة λ متناسب مع مربع الدور t للحركة المسارية .

ولدينا بالتعريف $(\boldsymbol{a})\lambda = \frac{g}{\pi}.t^2$ $(\mathbf{b})\ \lambda\ =\ \mathrm{C.t}$

من هذين الدستورين نستنتج :

$$\mathbf{(c)}C = \sqrt{\frac{\lambda.g}{\pi}} = 1.7\,.\sqrt{\lambda}$$

ندخل الآن مفهوم السرعة الزاوية للدوران (دوران الذرات) $\pi = w.t$

وباستخدام الدستورين a و b نجد :

$$\pi = w^2\,.\frac{c.t}{g} = w.\frac{\pi}{t}.\frac{C.t}{g}$$

و $\pi^2 = w^2\,.\frac{\pi\lambda}{g}$

ومنه أخيرا $(d)\ C.w = g$

ويمكن أن نبين الدستور الرابع لكارستر كما يلي :

" ان السرعة والسرعة الزاوية للدوران هما متناسبان عكساً "

إن التجربة تؤيد قانون كارستر الأول ويكفي أن نقيس كمية من الكميات الثلاث (λ.C .t.) حتى تستدرج الباقي .

القدرة الموجودة في الأمواج (الأعماق لامتناهية) :

إن القدرة الكلية الموجودة في الموجة تساوي مربع سرعتها مضروبة في كتلة الماء الموجودة في دائرة الاهتزاز الأولى ؛

$$.E = \pi.d\,.h^2\,C^2$$

حيث d: كثافة ماء البحر.

ومن الدستورين a,c نجد :

$$E = K \cdot \frac{g.h^2.\lambda}{2}$$

أي أن القدرة متناسبة مع الطول ومربع الارتفاع .

ثانياً : الأمواج في الأماكن ذات العمق المحدود :

عندما ينتقل عمق التاع ويصبح $H = \frac{\lambda}{2}$ يبدأ القاع بالتأثير على عناصر الأمواج حيث يزداد (T) دور الموجة ويقل طولها (λ) وتصبح الأمواج أكثر انبساطاً وذرات المياه تتحرك في مسار قطع ناقص .

$$rx = \frac{h}{2}.\frac{ch.k(y_0 + H)}{sh.k.H}$$

$$ry = \frac{h}{2}.\frac{sh.k(y_0 + H)}{sh.k.H}$$

حيث على سطح الماء الحر : $y_0 = 0$

$$rx = \frac{h.cth.k.H}{2} \qquad ry = \frac{h}{2}$$

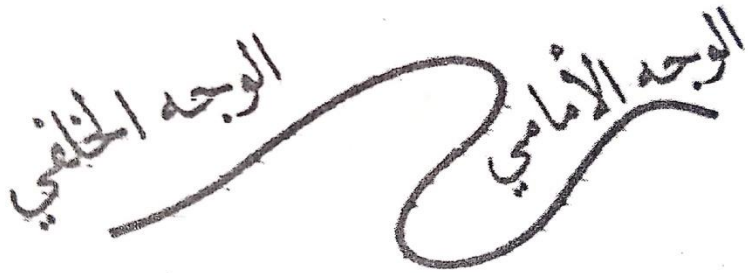
على مستوى القاع : $y_0 - H$

$$rx = \frac{h}{2.sh.k.H} \qquad ry = 0$$

أي أنه على القاع يتحول القطع الناقص إلى خط بالتدريج مع ازدياد البعد عن سطح الماء الحر وتقل قيم rx , y وهنا تؤثر الحبيبات التي ترسم هذه المسارات أو اهتزازاتها الأفقية مباشرة على الذرات الصلبة في القمر المتحرك.

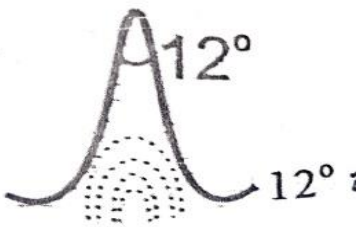
في منطقة تكسر الأمواج يكبر ظهر الموجة والوهدة تصبح أكثر انبساطاً ، ويشكل ظهر الموجة 80 % من ارتفاعها h ، ونظراً لأن السرعة المدارية لذرات المياه في القسم العلوي من القطع الناقص أكبر بشكل ملموس منها في القسم السفلي فإنه يبدأ ظهر الموجة بأخذ شكل أسطواني

ويسرع نحو الأمام لينقلب في الوهدة ، ويقال عندئذ أن الموجة تتكسر ، ويصبح الوجه الأمـامي للموجة أكثر انحداراً أو قساوة ، والخلفي أكثر انبساطاً



وتنتهي عملية تكسر الأمواج في المنطقة IV المجاورة لخط الماء عنـد العمـق الحرج H_{kp} ، ونميز نموذجين لتكسر الأمواج :

1- التكسر بانقلاب ذروة الموجة .
2- التكسر بالرشق حيث يمتط ظهر الموجة حتى تتشكل الذروة ° 12



ويحدث انقلاب الذروة عندما يكون ميل القاع كبيراً والأمواج قليلة القساوة . ويحدث الرشق عندما يكون ميل القاع قليلاً والأمواج قاسية . ويمكن فـي حالة تكسر الأمواج بالانقلاب أن تتشكل أمواج جديدة أبعادها أصغر من الأمواج المكسرة ومشابهة لها على بعد قريب من مكان التكسر .

وتكون حركة الذرات في الأمواج الجديدة المتشكلة على مـدارات مفتوحـة (أي يحدث انتقال في كتلة الماء أي تيـارات) ، ويمكـن أن يتكـرر التكسـير حـتـى (4→3)

$$H_{kp} = (1.25 \rightarrow 1.5).\ h_{kp} \quad , \qquad H_{kp} = 0.1\ .\lambda$$

حيث : h_{kp} ارتفاع الموجة التي دخلت في المنطقة الرابعة .

هذا ويؤثر انعكاس الأمواج عن الشاطئ كثيرا علـى عمليـة تكسـر الأمواج . إذ أنه عند ميل القاع (i = 0.1) يكون ارتفاع الموجة المنعكسـة عـن الشاطئ مساوياً (10%h) تقريباً (أي h للموجة المتجهة نحو الشاطئ) .

أما في الظروف الطبيعية فيمكن إهمال ظاهرة انعكاس الأمواج عن الشاطئ بالإضافة لأمواج الرياح تعتبر الأمواج الطويلة على درجة كبيرة من الأهمية بالنسبة للمنشأت البحرية والتي تتولد نتيجة الزلازل وانفجار البراكين وتغير الضغط الجوي وتأثير الشمس والقمر ، وأهم ما يميز هذه الأمواج هو طولها ($\lambda = 100 - 300km$) ، وبغض النظر عن ارتفاعها h فهي تملك قدرة كبيرة دورها min(16→15)وحتى يوم كامل .

سرعة انتشارها تتعلق عملياً بارتفاعها وتحدد بواسطة القاع . ونسمي الأمواج التي تتولد نتيجة الزلازل والبراكين (تسونامي) وتولدها شرط بأن يكون الانتقال الشاقولي للقاع من رتبة سرعة انتشار الاهتزازات المرنة في الماء .

أولا : تحديد المنطقة العميقة :

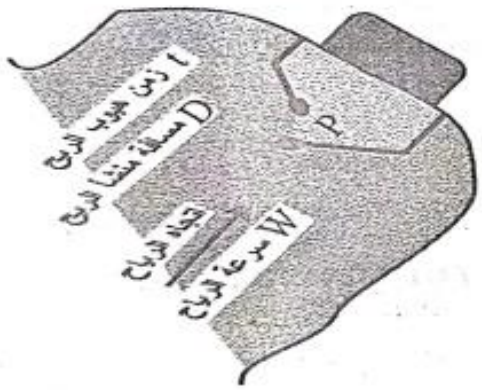
حساب عناصر الأمواج في المنطقة العميقة :

H- منسوب الماء في النقطة المدروسة .

h_r- ارتفاع الموجة الوسطي في المنطقة العميقة .

λ_r - طول الموجة الوسطي في المنطقة العميقة ..

t_r - تردد الموجة الوسطي في المنطقة العميقة



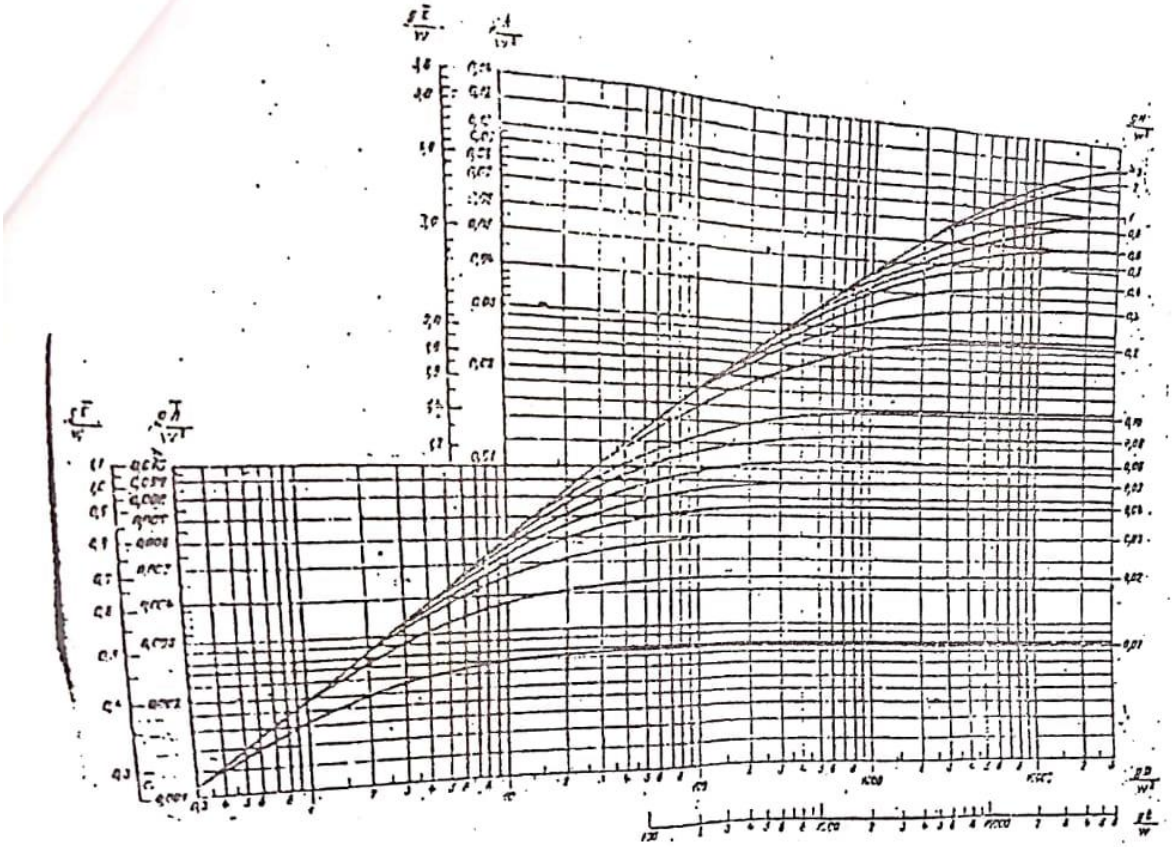
1- حالة سرعة الرياح ثابتة بالاتجاه والشدة :

المعطيات g , t , w.D

المطلوب : h , λ , t

حسب القيم gD/w^2, gt / w حيث نحسب منها h,t ووفق المنحني العلوي من الشكل (2-1) تحدد القيم $\frac{gh}{w^2}$, $\frac{gt}{w}$ حيث نحسب منها h , t

أما طول الموجة λ فيحسب من العلاقة : $\lambda = \frac{g.t^2}{2\pi}$



الشكل (2-1)

حالة سرعة الرياح متغيرة في الشدة وثابتة في الاتجاه :

- عناصر المنطقة الأولى (w_1, D_1) .نحسب h في نهاية المنطقة (1) وفق ما يلي :

من الشكل (1-2) وبنفس الطريقة نحسب h_1

- عناصر المنطقة الثانية (w_2, D_2) .

نحسب h_2 في نهاية المنطقة (2) وفق ما يلي:

نحسب القيمة h_1 كما لو كانت ناتجة عن w_2 أي نحسب النسبة $\frac{g.h_1}{{w_2}^2}$.

نحددها على الشاقول اليساري وبالعكس نعود حتى يتقاطع مع 3 ≥ زمنه ننـــزل عمود على المستقيم السفلي فنحصل على القيمة $\frac{g.\dot{D}_2}{{w_2}^2}$ ثم بعدها نحسب القيمة :

$$\frac{g.(D_2 + \dot{D}_2)}{{w_2}^2} \leftarrow \frac{g.D_2}{{w_2}^2} + \frac{g.\dot{D}_2}{{w_2}^2}$$

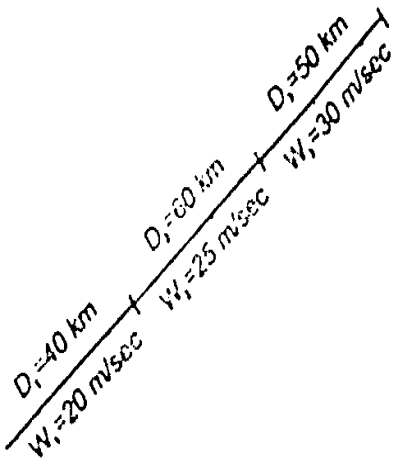
ونحدد القيمة على المستقيم السفلي ونرفع عمـود كمـا فـي المنطقـة الأولـى $\rightarrow$ حتى يتقاطع مع 3 ≥ ومنه نرسم مستقيم أفقي حتى يتقاطع مع $\frac{g.h^2}{w_2^2}$ ونحسب ومنها h_2 .

- عناصر المنطقة الثالثة وبنفس الأسلوب :

$$\frac{g.h_2}{{w_3}^2} \rightarrow \frac{g.\dot{D}_3}{{w_3}^2} \rightarrow \dot{D}_3 \rightarrow \frac{g.(D_3 + \dot{D}_3)}{{w_3}^2} \rightarrow \frac{g.h_3}{{w_3}^2} \rightarrow h_3$$

وهكذا بالنسبة لبقية المناطق.

مثال : أوجد ارتفاع الموجة الوسطي للنقطة P إذا كانت السرعة متغيرة وتقسم إلى ثلاثة مناطق كما هو موضح بالشكل :



- المنطقة الأولى : من الشكل (1-2)

$$\frac{g.D_1}{w_1^2} = \frac{9{,}81.40.10^3}{(20)^2} = 981 \Rightarrow$$

$$\frac{g.\overline{h_1}}{w_1^2} = 0{,}046 \rightarrow \frac{9{,}81.\overline{h_1}}{(20)^2} = 0{,}0465$$

$$\overline{h_1} = 1{,}89 \approx 1.9m$$

- المنطقة الثانية :

$$\frac{g.\overline{h_1}}{w_2^2}=\frac{9{,}81.1{,}9}{(25)^2}=0.03\Rightarrow\frac{g.D_2'}{w_2^2}=350\Rightarrow$$

$$D_2'=\frac{(25)^2.350}{9{,}81}=22.3km\Rightarrow$$

$$\frac{g.(D_2'+D_2)}{(w_2)^2}=\frac{9{,}8(60+22{,}3).10^3}{(25)^2}=1292$$

$$\Rightarrow\frac{g.\overline{h_2}}{w_2^2}=0{,}05\Rightarrow\frac{9{,}81.\overline{h_2}}{(25)^2}=0{,}05\Rightarrow\overline{h_2}=3{,}18\ \text{m}$$

المنطقة الثالثة :

$$\frac{g.\overline{h_2}}{w_3^2}=\frac{9{,}81\ .3{,}18}{(30)^2}=0{,}035\Rightarrow\frac{g.D_3'}{w_3^2}=500$$

$$\Rightarrow D_3'=45872$$

$$\Rightarrow\frac{g.(D_3'+D_3)}{(w_3)^2}=\frac{9{,}81\,(50000+45872)}{900}=1045$$

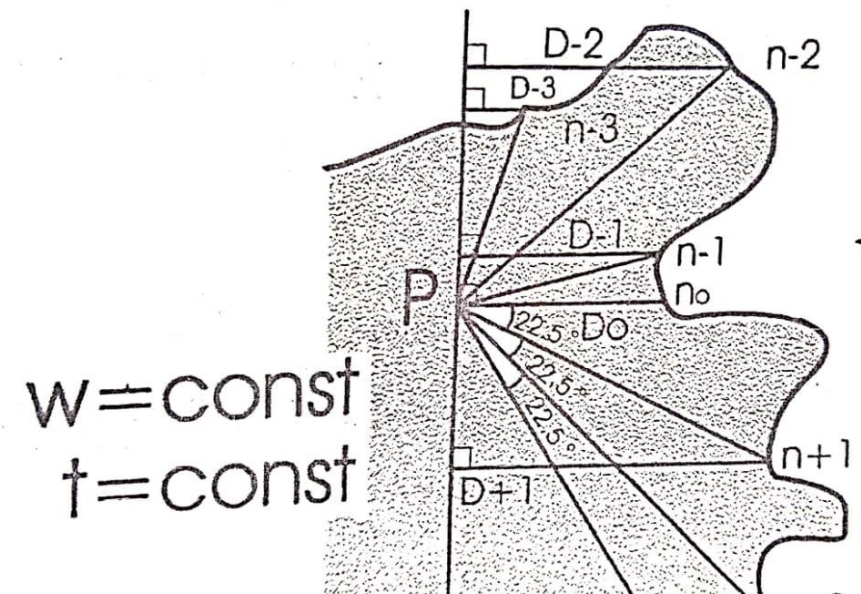
$$\Rightarrow\frac{g.\overline{h_3}}{w_3^2}=0{,}0475\Rightarrow\overline{h_3}=4{,}36\ \text{m}\approx4.4\ \ \text{m}$$

$$\Rightarrow\frac{g.\overline{\tau}}{w}=2{,}9\ \ \Rightarrow\overline{\tau}=8{,}9\Rightarrow\overline{\lambda}=\frac{g.\overline{\tau}^{-2}}{2\pi}$$

طول الموجة $\overline{\lambda}=123\ \text{m}$

حالة الرياح متغيرة في الاتجاه وثابتة في الشدة .

الشاطئ المعقد :



♦ ننشئ من النقطة يوازي اتجاه الريح حتى يتقاط البر.

اتجاه الريح

♦ ننشئ مستقيماً بزا $\alpha=22.5°$ مع المستقيم

الأول من كلا الطرفين و

نسميها

n_{+1} و n_{-1}

- وننشئ بنفس الزاوية المستقيمين n_{-2} و n_{+2}

- وننشئ بنفس الزاوية المستقيمين n_{-3} و n_{+3}
- ننشئ عموداً على الخط n0 بحيث يتقاطع مع خط الشاقول بالاتجاهين .
- نعود ونسقط كافة المستقيمات على هذا العمود ونرمز لكل مسقط ب D_1 فيكون لدينا D_{-3} وD_{-2} و D_0 وD_{+3} وD_{+2} وD_{+1} .

نعود إلى المخطط السابق ونحسب القيمتين ($\frac{g.t}{w}$ و$\frac{g.D_0}{W^2}$) ونختار القيمة الأصغر .

ملاحظة : D_0 : تقاس تخطيطاً بالمسطرة .

وبنفس الطريق نطبق من أجل h_{-1} و h_{-2} و h_{-3} و h_{+1} و h_{+2} و h_{+3} وهكذا وسوف نحصل بالنهاية على h_p الوسطية في النقطة المدروسة والتي تعطى بالعلاقة التالية :

$$\overline{h_P} = 0{,}1\sqrt{25\overline{h_0}^2 + 21\left[\left(\overline{h}_{-1}\right)^2 + \left(\overline{h}_{+1}\right)^2\right] + 13\left[\left(\overline{h}_{-2}\right)^2 + \left(\overline{h}_{+2}\right)^2\right] + 3{,}5\left[\left(\overline{h}_{-3}\right)^2 + \left(\overline{h}_{+3}\right)^2\right]}$$

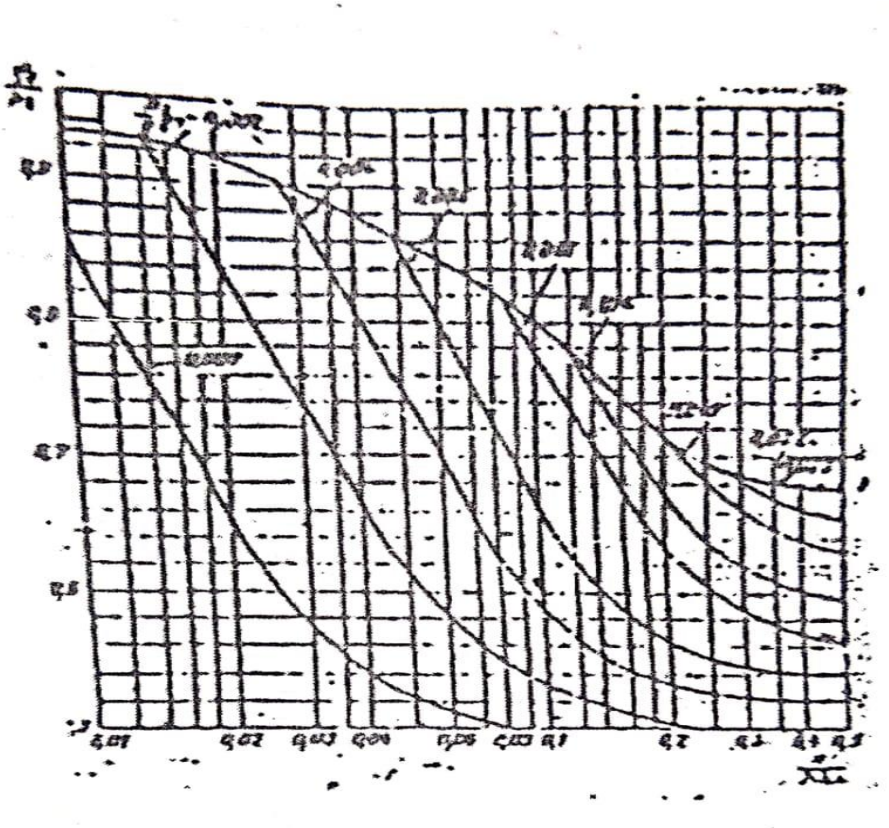
ونلجأ بعدها لحساب Tp و λ_p حيث $\frac{g.\mathrm{hp}}{w^2} \rightarrow \frac{g.\mathrm{Tp}}{W} \rightarrow \mathrm{Tp}$

تحسب λp بالعلاقة : $\lambda_p = \frac{g.(TP)^2}{2\pi}$

حساب h_i : هي ارتفاع الموجة باحتمال I% (0.1%, 5%.....)

المعطيات : H , g , w , D (I%او درجة المرفأ)

المطلوب حساب K_I من الشكل (2-2)

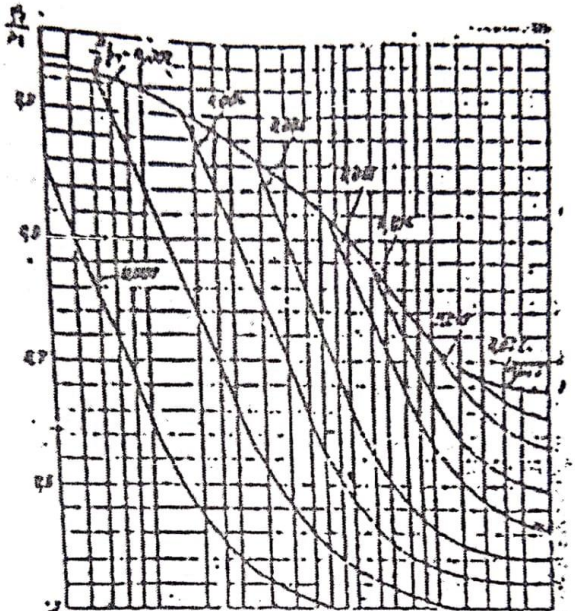


يتم الحساب كما يلي :

نحسب النسبتين $\frac{g.D}{W^2}$ و$\frac{g.H}{W^2}$ ونختار الأصغر ونرفع عموداً حتى يتقاطع مع المنحني الخاص بدرجة المرفأ ونمد أفقياً حتى يتقاطع مع مستقيم K_I فنحددها .

$$K_I = \frac{\mathrm{h}_i}{\overleftarrow{h}} \rightarrow \mathrm{h}_i = K_i \,.\, \overleftarrow{h}$$

المنسوب الحسابي لمياه البحر η_B



من الشكل (3-2)

- H- ارتفاع الماء في النقطة المد
- نحسب النسبة $\frac{h_i}{g.\overleftarrow{t^2}}$ فنحدد الخط ال
- نحسب النسبة $\frac{H}{\lambda}$ ونحدد القطعة ون
- عمود فنحصل على النسبة $\frac{\eta_B}{h_1} =$

ثانياً : تحديد المنطقة قليلة العمق

دراسة الأمواج في المنطقة قليلة العمق

ونميز في الدراسة الحالات الثلاث التالية حسب ميل القاع :

- **الحالة الأولى :حالة ميل القاع < 0.001**

في هذه الحالة نحسب $\frac{g.H}{w^2}$ فنحدد المخطط ومن ثم نحسب القيميتين

$\frac{g.D}{w}$ و $\frac{g.t}{w}$ ونختار الأصغر ←

وكما سبق وشرحنا نحصل على :

$$\eta_B \leftarrow h_1 \leftarrow \lambda = \frac{g.t^{-2}}{2\pi} \leftarrow \frac{g.\bar{t}}{w}, \frac{g.\bar{h}}{w^2}$$

في المنطقة القليلة العمق

- **الحالة الثانية : حالة ميل القاع >0.002**

في هذه الحالة يعطي الارتفاع الوسطي بالعلاقة التالية :

$$h_{i\%} = \bar{h}_{\bar{M}} = K_T \,.\, K_P \,.\, K_n \,.\, \bar{h}_r$$

K_n . - ثابت زيادة التوتر على سطح الماء ويؤخذ من الجدول (2-1)

K_P - ثابت الالتواء أو الانكسار ويحسب من العلاقة : $K_p = \sqrt{\frac{S_\circ}{S}}$

حيث $S_\circ$: المسافة بين شعاعي الموجة في المنطقة العميقة .

S : المسافة بين الشعاعين وفق خط يمر من النقطة المدروسة في المنطقة القليلة العمق .

وغالباً ما نأخذ K_P=1 لأنه في البحر المتوسط لا يوجد انكسارات او التواءات للأمواج.

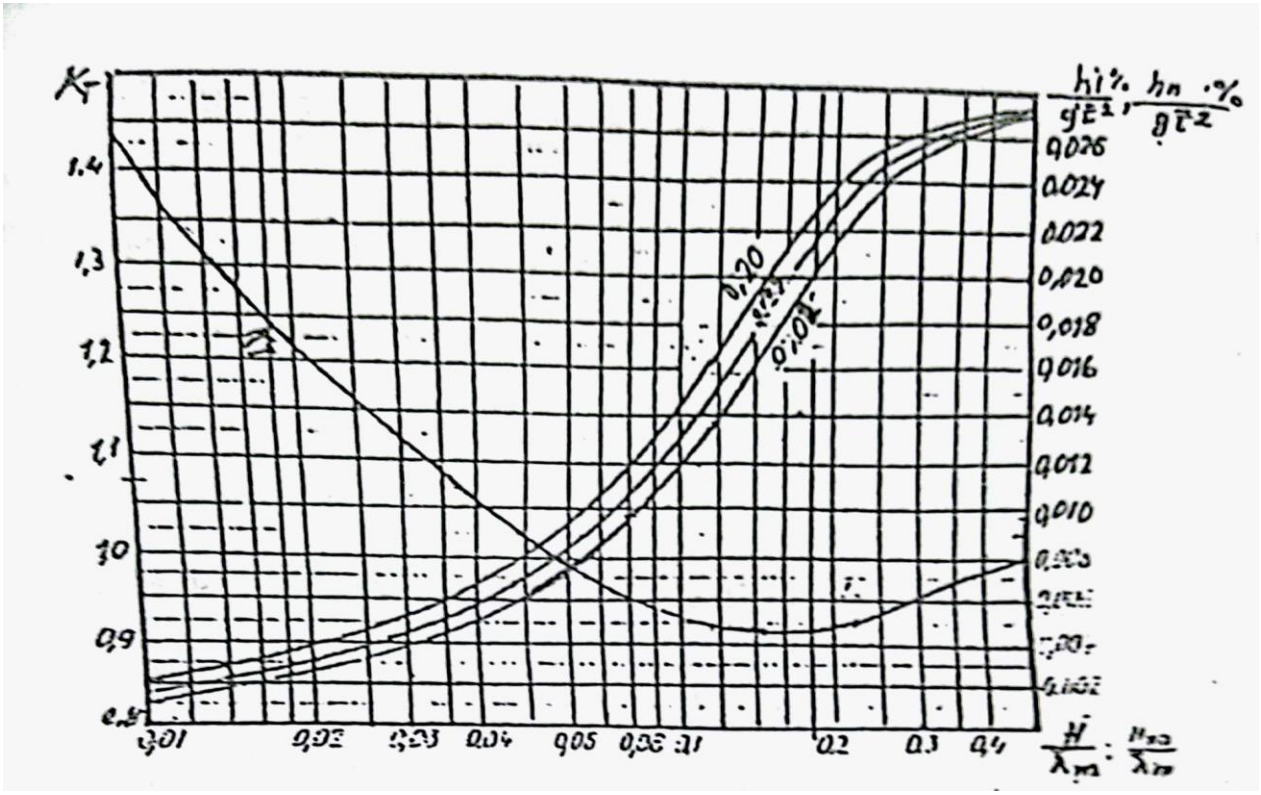
K_T – تؤخذ من الشكل (2-4)

$\bar{h}_r$ – ارتفاع الماء الوسطي في المنطقة العميقة .

$H/\bar{\lambda}$		
	0.025	**0.02-0.002**
0.01	**0.82**	**0.66**
0.02	**0.85**	**0.72**
0.03	**0.87**	**0.76**

0.04	**0.89**	**0.78**
0.06	**0.9**	**0.81**
0.08	**0.92**	**0.84**
0.1	**0.93**	**0.86**
0.2	**0.96**	**0.92**
0.3	**0.98**	**0.95**
0.4	**0.99**	**0.98**
0.5	**1**	**1**

الجدول (1-2)



الشكل (4-2)

وبعد حصولنا على ثوابت العلاقة نعوض فيها فنحصل على $\overline{h_{\overline{M}}}$ ومن ثم نحسب η

$$h_i = K_i \,.\, \overline{h}$$

ثم نحسب $B\eta$ من المخطط السابق : $\frac{\eta B}{h_i}$

- **الحالة الثالثة :ميل القاع معطى بالشكل .**

0.001 < ميل القاع < 0.002

وفي هذه الحالة نحسب بالطريقتين السابقتين ثم نأخذ القيمة الأكبر منها ونحسب بقية العناصر .

ثالثاً : انتشار الموجة في منطقة التكسر:

إن عملية تكسر الأمواج تتبع

لميل القاع m_a فإذا كان الميل كبير

الموجة تتقلب على نفسها في عملية

التكسر وأما إذا كان العكس فإن الم

تتكسر بالرشق ونحدد عدد قلبات الموجه .

حساب العمق (H_k) الذي تبدأ عنده الأمواج بالتكسر:

يبدأ حساب H_k كالتالي :

المعاليم (w , D, t) مواصفات الريح السائدة .

A. نحسب $t_r \cdot \gamma_r \cdot h_{it} \cdot h_r$ في المنطقة العميقة ..Type equation here

B. نفرض كتقرب أول أن :

(قليلة العمق) $\frac{h_{it}}{g.tr^{-2}} = \frac{h_i}{g.t^{-2}}$ (العميقة)

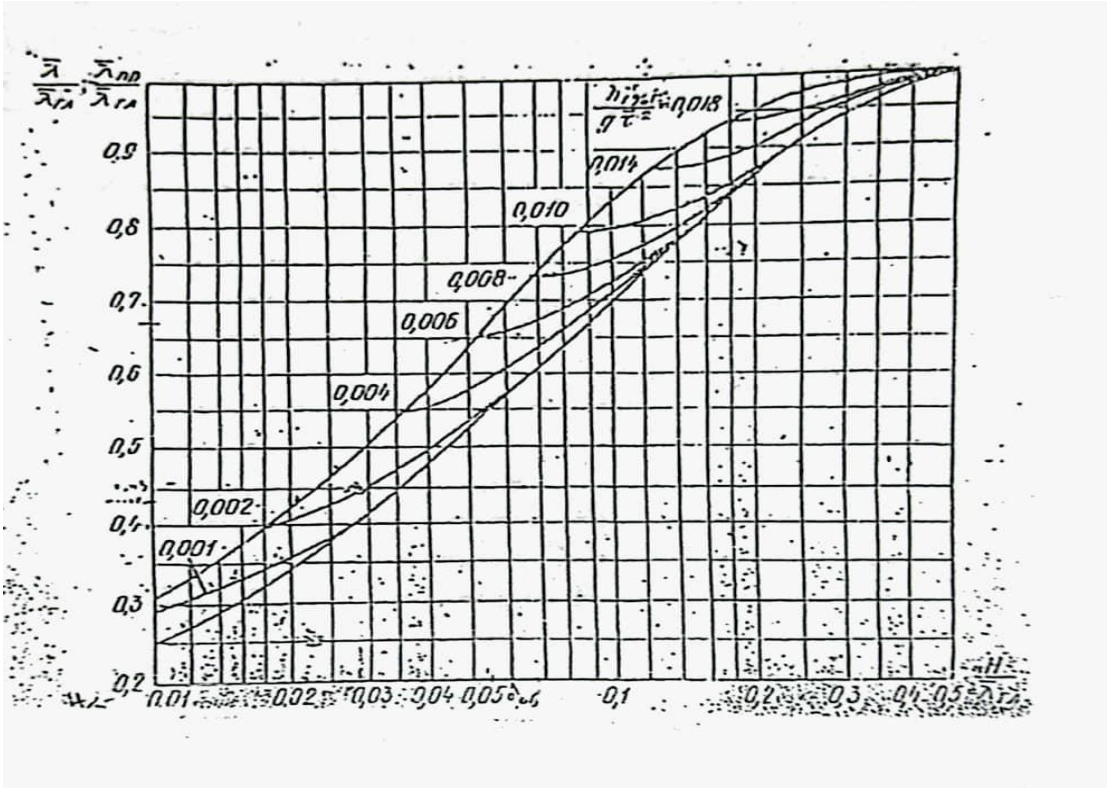
وذلك على اعتبار أن الخط H هو الفاصل بين المنطقتين العميقة والقليلة العمق .

ثم نحدد هذه النقطة على الشكل (4-2) وحسب الميل نحصل على :

$$\frac{H1}{\overleftarrow{\gamma}} = \Delta \rightarrow H_1 = \Delta \overleftarrow{\lambda}$$

وهو التقريب الأول .

حيث يحدد طول الموجة في منطقة التكسر وفق الشكل (2-5).



الشكل (2-5)

وفي هذه النقطة نحسب $h_i\%$ للمياه قليلة العمق من العلاقة (2-6)

C : وفي التقريب الثاني يتم حساب النسبة :

$\frac{h_{i\%}}{g.t^{-2}} = \frac{h_{mp}}{g.t^{-2}}$ حيث تعتبر أن الدور ثابت.

ومن الشكل (2-4) نحسب النسبة:

$$\frac{H_{np}}{\boldsymbol{\lambda}_r} = \Delta_2 \rightarrow H_k = H2_{np} = \Delta_2 \,.\, \boldsymbol{\lambda}_r$$

حساب (H_{np}) وتعطى بالعلاقة التالية :

$$H_{np} = K_m^{n-1}.H_k$$

N عدد قلبات الموجة حتى نهاية التكسر.

بشرط أن يكون $K_m^{n-1} < 0.43$, $K_m^{n-2} > 0.43$

حيث نفرض بشكل متتالي قيم ل n

ميل القاع	**0.01**	**0.015**	**0.02**	**0.025**	**0.03**	**0.035**	**0.04**	**0.045**	**0.05**
K_m	**0.75**	**0.63**	**0.56**	**0.5**	**0.45**	**0.42**	**0.4**	**0.37**	**0.35**

الجدول (2-2) تحديد قيمة K_m و بحسب ميل القاع .