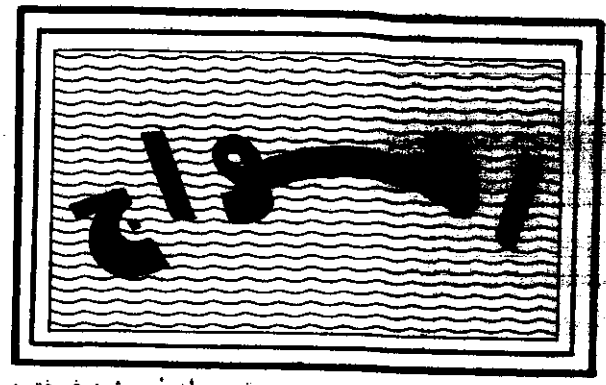


ترجمه از : جمشید فریفته

امواج

مشخص‌ترین و قابل توجه‌ترین عمل آشکار دریای متلاطم امواج می‌باشد .

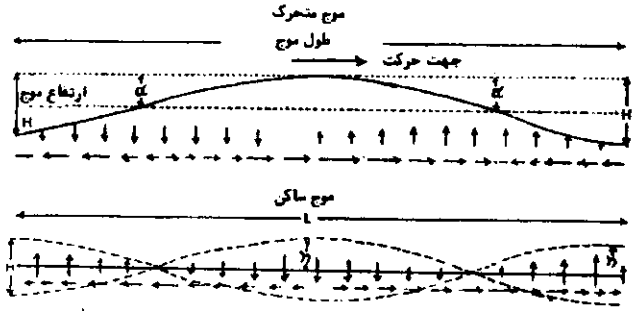
مفهوم کلی علم حرکت امواج را کرنیش (Cornish) در سال ۱۹۳۴ ـ ۱۹۱۲ ، کرومل (Krummel) در سال ۱۹۱۱ ، مارمر (Marmer) در سال ۱۹۳۲ پیشنهاد کردند .

امواج به علت اینکه دارای منشأهای گوناگونی هستند انواع [1] مختلف دارند . برای مثال : امواج به علت جزر و مد ، زلزله در دریاها ، و وزش باد یا طوفان بوجود می‌آیند . اما در این بحث ما عمدتا" به طبیعت ، خصوصیات و تأثیرات امواجی که به‌سبب وزش باد بوجود می‌آیند توجه می‌کنیم .

طبیعت و ویژگیهای فیزیکی

آب دریا در یک موج به سادگی بالا و پائین و به مقدار ناچیزی عقب و جلو می‌رود و دارای خصوصیات موزون یا نوسانی می‌باشد ، به طرف جلو حرکت نمی‌کند مگر اینکه وزش باد رو به جلو کمک نماید تا آب به شکل یک جریان به جلو رانده شود .

حرکت ذرات آب در یک موج را به خوبی می‌توان به وسیله حرکت یک چوب پنبه متصور ساخت که در قله و چاله موج بالا و پائین می‌رود . چوب پنبه که در قله موج قرار دارد کمی به جلو حرکت می‌کند اما وقتی که در چاله موج قرار می‌گیرد به عقب برمی‌گردد و به طور کلی از شکل و ترتیب معینی تبعیت می‌کند .



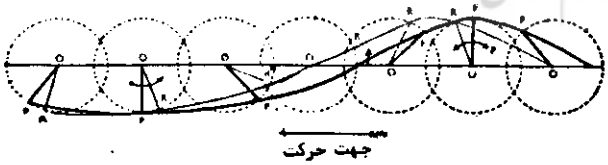
شکل ۱ ـ نمودار نمایش امواج متحرک و ساکن .

قبل از اینکه راجع به منشأ و خصوصیات و طبیعت امواج بحث کنیم لازم می‌باشد که ساختمان امواج را توضیح دهیم .

قله موج بلندترین قسمت و چاله موج به عنوان پست‌ترین قسمت از یک موج تعریف، شده است درصورتی که **ارتفاع موج فاصلهٔ عمودی** بین قله و چاله و طول موج عبارت از فاصله افقی بین دو قله موج می‌باشد . سرعت موج برابر با فاصله پیموده شده توسط موج در ثانیه و دوره موج ، زمان موجود بین پدید آمدن دو قله موج در یک مکان ثابت می‌باشد . امواج ثابت از ترکیب دو موج حرکتی که در جهت‌های مخالف یکدیگر حرکت می‌کنند نتیجه می‌شوند و شامل یک سری از اشکال نوسانی S مانند (سینوسی) آنچنان که در شکل ۱ نشان داده شده است می‌باشند .

موجی که بوسیله باد رانده می‌شود به شکل تروکوئید (Troch - oid) است ، (تروکوئید مسیری است که بوسیله دنبال کردن نقطه‌ای بر روی شیب چرخی بین طوقی و توپی ایجاد می‌گردد[2]) . در یک موج حرکت ذرات آب در قله به طرف جلو و در چاله به طرف عقب و در وسط دامنه عقبی به طرف پائین و در دامنه جلوئی به طرف بالا می‌باشد . حرکت ذرات آب با افزایش عمق پهنه آب کاهش می‌یابند ، بنابراین بادها به جز در نزدیکی سطح آب دارای تأثیر کمی هستند ، طبق محاسبات انجام شده معین گردیده است که میزان حرکت آب در عمقی برابر با طول موج حدود $\frac{1}{500}$ میزان حرکت آب در سطح می‌باشد .

امواج اشکال گیج کننده‌ای را بر سطح دریا می‌سازند که علت آن درهم آمیختن تعداد بی‌شمار و گوناگون امواج با سرعت ، جهت و چگالی متفاوت می‌باشد . با تمام این وجود درباره حرکت امواج نظراتی می‌تواند پیشنهاد گردد که رابطه بین طول موج ، سرعت موج و عمق آب را نشان دهد . در تکامل یک موج علاوه بر عمق آب و مدت وزش ، قدرت و اثر حرکت باد (به صورت رفت و برگشتی ، Fetch) از مهمترین عوامل می‌باشند . بر اساس متغیرهای بالا ، تئوری حرکت موج ، اختلاف موجود در حالات امواج را شرح می‌دهد .



شکل ۲ ـ تکامل یک موج

تکامل یک موج

شکل ۲ که حرکت موج بر اساس تئوری تروکوئیدال می‌باشد ، تکامل یک موج را نشان می‌دهد که بسیار سریعتر از ذرات منفرد می‌باشد . ذرات آب در قله به طرف جلو در همان جهتی که موج

پیشروی دارد حرکت می‌کنند، در حالیکه در چاله موج این حرکت بر عکس می‌باشد. در نمودار بالا دوایر نمایانگر $\frac{1}{8}$ حرکت متوالی از یک دور کامل موج می‌باشند و موقعیت ذرات در سطح بالا بوسیله نقاط ppp نشان داده شده و OP، OP و غیره شعاع دوایر موجود هستند. بعد از اینکه عمل چرخش به اندازه $\frac{1}{8}$ انجام شد نقاط p در موقعیت R قرار می‌گیرند و RRR تروکوئیدی خواهد بود که در شکل با ppp یکسان می‌باشد. با این تفاوت که قله و چاله‌اش کمی دورتر در سمت چپ واقع می‌گردند. قطر دوایر، حرکت ذرات را در جهت پیشروی موج محدود می‌نمایند و از این رو آبها به طرف جلو و عقب در حول مرکز دوایر حرکت می‌کنند.

مفهوم تروکوئیدال امواج تأثیر عمق بر ارتفاع و حرکت موج به جلو را بیشتر توضیح می‌دهد. در عمق آب ارتفاع موج به صورت تصاعد هندسی کاهش می‌یابد در حالیکه افزایش عمق به صورت تصاعد حسابی می‌باشد و به صورت قانون زیر بیان می‌شود:

برای هر عمق اضافه شده در زیر نقطه نصف ارتفاع از سطح موج که معادل $\frac{1}{9}$ طول موج باشد. سرعت و چرخش ذرات آب به نسبت $\frac{1}{2}$ کاهش می‌یابند [3].

$\frac{1}{9} \quad \frac{2}{9} \quad \frac{3}{9} \quad \frac{4}{9} \quad \frac{5}{9} \cdots \frac{8}{9}$. افزایش عمق به صورت کسری از طول موج در زیر نقطه نصف ارتفاع از سطح موج.

$1 \quad \frac{1}{2} \quad \frac{1}{4} \quad \frac{1}{8} \quad \frac{1}{16} \quad \frac{1}{32} \cdots \frac{1}{256}$ نسبت کاهش سرعت و قطر دوایر موج (ارتفاع موج).

در حمایت از نظریه بالا مثالهائی می‌توان ذکر کرد، مثلا" درعمق ۱۰ متر، ارتفاع تروکوئید زیر سطح آب ۱/۵ متر خواهد بود و در عمق ۲۰ متری به ۰/۷۵ متر و در عمق ۵۰ متری به ۹ سانتیمتر و در عمق ۱۰۰ متری به ۲ میلیمتر خواهد رسید و همچنین موجی که براثر طوفان بوجود آمده باشد و ۶۰۰ فوت طول و ۴۰ فوت ارتفاع داشته باشد درعمق ۲۰۰ فوتی تا ۵ فوت و درعمق ۴۰۰ فوتی فقط ۷ یا ۸ اینچ ارتفاع خواهد داشت.

بعلاوه دوره، سرعت و طول موج به یکدیگر بستگی داشته و از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

دوره موج برحسب ثانیه × ۳/۱ = سرعت موج به گره دریائی.

مجذوردوره موج برحسب ثانیه × ۵/۱ = طول موج بر حسب فوت.

جدول ۱ روابط بین متغیرهای بالا را نشان می‌دهد.

جدول ۱ ــ دوره، سرعت و طول موج

طول موج برحسب فوت	سرعت برحسب گره دریائی	دوره برحسب ثانیه
۵/۱	۳/۱	۱
۱۲۷/۵	۱۵/۵	۵
۵۱۰	۳۱	۱۰
۱۱۵۰	۴۶/۵	۱۵
۲۰۱۰	۶۲	۲۰
۲۶۰۰ حدود	۷۰ حدود	۲۲/۵

از: کتاب دریا و رازهایش، اثر: کلمان (Colman)، ص. ۷۰.

آشکار است که امواج سطحی اغلب توسط باد بوجود می‌آیند و رابطه نزدیکی بین سرعت و اثر باد (Fetch) و ارتفاع و تکامل امواج در روی سطح دریا وجود دارد. از این رو در اقیانوس‌های مختلف دوره، سرعت و طول امواج از نظر عظمت تفاوت دارند که قسمتی از آن به تغییرات باد و قسمتی به تغییرات عوامل دیگر بستگی دارد. جدول ۲ تغییرات ذکر شده فوق را در مورد یک موج دراقیانوس‌های مختلف نشان می‌دهد. دوره موج طولانی‌تر همراه با طول موج طولانی‌تر و معمولا" سرعت بیشتر می‌باشد. همان‌طوری که در مورد وزش بادهای غربی در ناحیه‌ای از اقیانوس اطلس جنوبی مشاهده می‌شود. در اینجا دوره موج ۹/۵ ثانیه همراه با طول موج ۱۳۳ متر و سرعت ۱۴ متر بر ثانیه است. در اثر وزش بادهای تجارتی در اقیانوس اطلس دوره موج ۵/۸ ثانیه همراه با طول موجی برابر ۶۵ متر و سرعتی برابر ۱۱/۲ متر بر ثانیه است.

جدول ۲ ــ ویژگیهای امواج سطحی

دوره موج برحسب ثانیه	طول موج برحسب متر	شدت موج برحسب متر بر ثانیه	نواحی
۵/۷	۶۵	۱۱/۲	اقیانوس اطلس، نواحی بادهای تجارتی.
۷/۶	۹۶	۱۲/۶	اقیانوس هند، نواحی بادهای تجارتی.
۹/۵	۱۳۳	۱۴	اقیانوس اطلس جنوبی، نواحی وزش بادهای تجارتی.
۷/۶	۱۱۴	۱۵	اقیانوس هند، نواحی وزش بادهای تجارتی.
۶/۹	۷۹	۱۱/۴	دریای چین.
۸/۲	۱۰۳	۱۲/۴	غرب اقیانوس آرام.

منبع: کتاب اقیانوس‌ها، صفحه ۵۲۶، جدول ۲۸، جانسون و فلیمینگ (Johnson & Fleming).

باد و ارتفاع موج

باد به تنهائی به طرق مختلف به تشکیل امواج کمک می‌کند. رابطه بین جهت باد و انرژی موج می‌تواند در حالتهای زیر توضیح داده شود:

الف ـ وقتی که پیشروی موج در جهت حرکت باد و سرعت آن کمتر از سرعت باد باشد، بر روی دامنه هر قله رو به باد یک افزایش فشار و در دامنه هر قله در پناه باد یک کاهش فشار وجود دارد. بنابراین فشار باد مثبت بوده و سبب افزایش انرژی امواج می‌گردد.

ب ـ وقتی که پیشروی موج در جهت مخالف حرکت باد است عملکرد فشار جوی برای انرژی موج منفی می‌باشد.

ج ـ اگر سرعت موج بیشتر از سرعت باد و جهت موج در جهت باد باشد تأثیر انرژی موج در رابطه با فشار جوی منفی خواهد بود.

علاوه بر معین کردن عملکردهای فوق، باد همچنین به واسطه اصطکاک مماس، بر سطح آب ایجاد فشار می‌کند. اثر حرکت باد (*Fetch*) بر روی آب سبب افزایش انرژی و در نتیجه افزایش ارتفاع موج می‌شود. توماس ستیونسون (*Thomas Stevenson*) بر روی فرمول اثر حرکت باد (*Fetch*) کار نموده و از این فرمول $h = 1/5 \sqrt{f}$ نتیجه گرفته که ارتفاع موج برحسب پا $\frac{1}{2}$ برابر ریشه دوم *Fetch* برحسب مایل دریائی می‌باشد. در این فرمول h ارتفاع موج برحسب پا و f فچ باد (*Fetch*) برحسب مایل ـ دریائی می‌باشد. به عبارت دیگر ارتفاع موج در یک فاصله داده شده از ساحل ممکن است به قرار زیر باشد:

در فاصله ۱۰ مایل ارتفاع ۵ فوت، در ۲۰ مایل ۷ فوت، در ۵۰ مایل ۱۱ فوت در ۱۰۰ مایل ۱۵ فوت، در ۴۰۰ مایل ۳۰ فوت و در فاصله ۱۰۰۰ مایل ارتفاع موج ۴۷ فوت می‌باشد.

به طور مشابه ارتفاع موج نیز در رابطه با سرعت موج است و برابر با سرعت باد، و برحسب مایل در ساعت تقسیم بر ۲/۰۵ می‌باشد.

بلندترین ارتفاع مشاهده شده موج در اقیانوس‌ها در حدود ۱۲ متر می‌باشد اگر چه در فوریه ۱۹۳۳ ناو *Ramapo* ایالات متحده آمریکا هنگامی که از مانیل به ساندیگو رهسپار بود با امواجی که ۱۱۲ فوت ارتفاع داشته مواجه گردیده بود، اما این ارتفاع استثنائی به ندرت دیده شده است به طوری که بلندترین ارتفاع احتمالی امواج ناشی از طوفان بیشتر از ۶۰ فوت نمی‌باشند.

در طی طوفانی که در خلیج بیسکی (*Biscay*) در دسامبر سال ۱۹۱۱ اتفاق افتاد کرنیش (*Cornish*) به امواجی با ارتفاع بیش از ۱۲ متر اشاره نمود و در اقیانوس اطلس شمالی در دسامبر سال ۱۹۲۲ کشتی «*Majestic*» وجود امواجی با ارتفاع بیش از ۳۰ متر را گزارش کرد.

انرژی توسط باد به موج انتقال داده می‌شود (که ممکن است به عنوان انرژی حرکتی بیان شود) و سبب افزایش ارتفاع آن می‌گردد. هر چه مقدار انرژی جذب شده بیشتر باشد موج ایجاد شده طویل‌تر و مرتفع‌تر خواهد بود. امواجی که دارای طول کوتاهتری هستند سریعتر به حداکثر ارتفاع خود می‌رسند بنابراین امواج طولانی‌تر زمان بیشتری برای این مقصود لازم دارند. بعلاوه مشاهده شده که در بادی با یک سرعت معین، طولانی‌ترین امواج ممکنه آنهائی بوده‌اند که برای مدتی با سرعت کمتر از سرعت باد حرکت کرده‌اند، همچنین بیشترین سرعت موج نمی‌تواند از سرعت بادی که منشأ آن است تجاوز کند.

امواج مخرب

گاه و بیگاه امواج مرتفعی سبب زیانهای بی‌شماری در نواحی مورد هجوم شان می‌شوند. این امواج اغلب به عنوان امواج جزر و مدی مشخص می‌گردند اما منشأ آنها ربطی به نیروئی که سبب ایجاد جزر و مد می‌شود ندارد. عواملی که منشأ این امواج هستند در رابطه با ساختمان داخلی زمین می‌باشند و یا عوامل جوی دلیل واقعی بوجود آمدن آنها به شمار می‌روند. به هر حال دو نوع امواج مخرب وجود دارد که عبارتند از امواج ارتعاشی یا زلزله‌ای و امواج بادی یا طوفانی.

امواج زلزله‌ای

این امواج وجودشان را مدیون زلزله‌ها و فوران آتشفشان‌هائی که در دریاها صورت می‌گیرند هستند که پیش از تشکیل، نیروی بزرگ و عظیمی را به دست می‌آورند. این امواج بر دو نوع‌اند:

۱ ـ امواج ارتعاشی (*Sound*) که توسط نوسانات طولی حاصله از زلزله‌های زیردریا بوجود می‌آیند.

۲ ـ امواج جابجائی یا «تسونامی» که در شکاف‌های کف اقیانوس‌ها بوجود می‌آیند و در رابطه با اغتشاشات زیر آب که ناشی از زلزله و فوران‌های آتشفشانی است می‌باشند.

نوسانات طولی حادث شده از زلزله‌های متوالی در یک ناحیه منشأ امواج ارتعاشی می‌باشند و این امواج معمولاً تکانهای شدیدی به کشتی‌های بادبانی می‌دهند.

دومین نوع از امواج زلزله‌ای یا ارتعاشی از طریق امواج کششی یا جاذبه‌ای ایجاد می‌شوند که در نواحی ساحلی بسیار نیرومند و مخرب می‌باشند. آبهای حاصله از امواج تسونامی را در دو مایلی یا دورتر در اطراف جلگه‌های ساحلی می‌توان مشاهده نمود و گفته شده که آب در این امواج تا ۱۳۵ فوت ارتفاع بالا آمده است.

تاریخ مثالهای زیادی از این نمونه امواج نوسانی که سبب ضرر ـ

های جانبی فراوانی گردیده تهیه نموده است. قدیمی‌ترین گزارشها درباره خرابیهای Helice در خلیج Corinthian به سال ۳۷۳ قبل از میلاد و اسکندریه در سواحل شرقی مدیترانه در سال ۳۰۸ بعد از میلاد می‌باشد، و جدیدترین گزارشات مربوط به زلزله لیسبون در سال ۱۷۵۵ است که ضررهای جانی و مالی وحشتناکی را نشان می‌دهد که ناشی از یک موج استثنائی با ارتفاع ۵۰ فوت بلندتر از بالاترین سطح جزر و مد در کدیز (Cadiz)بوده‌است. موج مشابهی در مدت $9\frac{1}{2}$ ساعت به غرب هندوستان رسید و در آنجا نیز سبب خسارات جانی و مالی گردید. در ژاپن امواج مشابهی در مواقع متعدد خرابیهای زیادی همراه با ضررهای جانی را سبب گردیده‌اند. برای مثال می‌توان از سیل‌های Awa در سال ۱۷۰۳ نام برد که در آن صدهزار نفر زندگی خود را از دست دادند. فوران آتشفشان کراکاتوا (Krakatau) در گذرگاه سوند در ۲۶ و ۲۷ آگوست ۱۸۸۳ امواج عظیمی را بوجود آورد و سبب خسارات جانی و مالی وحشتناکی گردید.

بعضی وقتها امواج جزر و مدی که توسط زلزله بوجود می‌آیند مسافت طولانی را طی می‌کنند و بر نواحیی از سواحل کشورهای دور دست تأثیر می‌گذارند. در اول آوریل ۱۹۶۴ در سواحل مجمع ـ الجزایر هاوائی این قبیل امواج پس از طی مسافت ۲۰۰۰ مایل که از شکاف‌های عمیقی در نزدیکی جزایر Unimark در ناحیه Alewtian با سرعتی برابر ۴۷۰ مایل در ساعت آمده بودند خرابیهای زیادی را سبب گردیدند. ارتفاع این امواج آنچنان که گزارش شده در رابطه با طبیعت ساحل بین ۱۹ تا ۵۵ فوت بوده است. امواج ارتعاشی که منشأ آن فوران کوه کراکاتوا بوده است با عبور از اقیانوس کبیر و پس از طی مسافتی نزدیک به ۱۰،۰۰۰ مایل سواحل غربی آمریکا را تحت تأثیر قرار داده است. اخیرا" در سال ۱۹۶۰ امواج دریائی که منشأ آن اغتشاشات ارتعاشی در آبهای شیلی بوده بعد از پیمودن هزاران مایل خرابیهای شدیدی را در سواحل ژاپن بوجود آورده‌اند.

سرعت حرکت امواجی که منشأ ارتعاشی دارند و یا به طور کلی مانند امواج بلند کششی هستند بر طبق فرمول $\sqrt{gh}$ محاسبه می شود البته برای جائی که عمق بر روی کف به طور یکنواخت تصور شده باشد، اما اگر تغییرات عمق به آن اضافه شود سرعت حرکت از فرمول $\sqrt{ghm}$ محاسبه می‌شود. (جائی که $\sqrt{hm}$ متوسط عمق است)

بر طبق مطالعات کرومل در ۱۹۱۱ و گوتنبرگ (Gutenberg) ۱۹۳۹ دوره تسونامی‌ها بین ۱۰ تا ۶۰ دقیقه در تغییر می‌باشد. بعد از دانستن طول دوره (سرعت)، طول موج به سادگی می‌تواند محاسبه شود. برای مثال در عمق ۲۰۰ متری سرعت موج ۴۴/۱ متر بر ثانیه ($\sqrt{gh}$ = ۴۴/۲) می‌باشد و طول موج برای طول دوره ۳۰ دقیقه‌ای برابر ۷۹/۶ کیلومتر خواهد بود.

امواج ناشی از باد یا طوفان

امواج ناشی از طوفانهائی مانند هاریکن و بادهای قوی عامل انهدام و خرابی در خشکی‌های ساحلی می‌باشند. این امر عمدتا" مربوط به بالا آمدن سطح عمومی آب و نیروی موج بادی ناشی از اغتشاش می‌باشد.

بدترین حوادث قابل ذکر در این مورد در سواحل گالوستون (Galveston) تکزاس در هشتم سپتامبر ۱۹۰۰ و در سواحل نیوفونلند در بیست و یکم دسامبر ۱۹۳۸ و در خلیج بنگال در هشتم اکتبر ۱۹۷۳ (زمانی که ۲۰۰۰ قایق منهدم و ۲۰۰،۰۰۰ نفر غرق شدند) اتفاق افتاد.

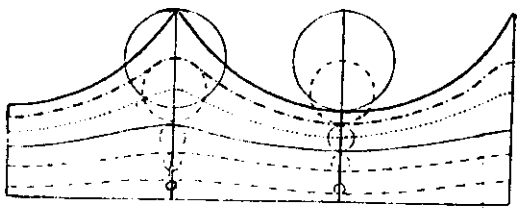
بزرگترین این امواج " Rollers " نامیده می‌شوند و به طور دوره‌ای برای مدت چندین روز در سواحل معینی باقی می‌مانند. وجود آنها به تغییرات فشار بارومتری که روی اقیانوس‌ها درچندین هزار مایل دورتر از ناحیه تحت تأثیر بوجود می‌آید، بستگی دارد.

یادداشتها

۱ ـ در طبقه‌بندی دیگری امواج ساکن، متحرک، داخلی، طوفانی، تسونامی تقسیم می‌شوند. م.

۲ ـ به عبارت دیگر نیمرخ تروکوئید منحنی است که یک نقطه معین از پیرامون دایره، ضمن حرکت مستقیم در روی یک مسطح مستوی در یک سطح قائم رسم می‌نماید، دراین نیمرخ رأس منحنی (فراز ـ موج) تندتر از قسمت فرورفته (فرود موج) می‌باشد. نیمرخ امواج به طرف اعماق به شکل تروکوئیدهائی که رفته رفته به صورت مسطح درمی‌آیند. نشان داده می‌شود. شکل ۲.
نقل از کتاب جغرافیای آبها تألیف دکتر جمشید جداری عیوضی استادیار دانشگاه تهران. م.

۳ ـ کتاب درسی اقیانوس‌شناسی، ص. ۱۰۸، جنکینز(Jenkins)



شکل ۲ ـ نیمرخ تروکوئید و تغییر شکل آن در اعماق

از کتاب : اقیانوس شناسی برای جغرافیدانان OCEANOGRAPHY FOR GEOGRAPHERS تألیف : ر.س.شارما، وم.واتال.