

# جزر و مد

## مقدمه

بحث مربوط به جزر و مد از جمله مباحث مهم جغرافیائی است که در کتب جغرافیائی مقاطع تحصیلی راهنمایی و دبیرستانی مطرح و مطالب ارائه شده در کتب مذکور طبعاً "مختصر می نماید" و اغلب به نظر می آید که دبیران علاقمند در دستیابی به مطالب بیشتر در این مورد بدنبال منابع پراکنده ای که وجود دارد هستند. نگارنده چون سالها در تدریس جغرافیا در این مقاطع تحصیلی با این مطالب برخورد داشته ام مناسب دانستم، که بخشی از کتاب "اقیانوس شناسی برای جغرافیدانان" تحت عنوان جزر و مد و امواج را ترجمه نمایم و امید است که مورد استفاده دبیران محترم قرار گیرد.

مترجم

ترجمه از: حمید کریمه

## جزر و مد:

عمومیت و وقوع روزمره جزر و مد از زمانهای پیشین موضوع جالب توجه ای برای مطالعه و بررسی بوده و متون زیادی درباره این پدیده به رشته تحریر درآمده است. پاره ای از این متون به صورت مطالعات ثئوریک، مشاهدات و بحث های متعدد و پاره ای دیگر به صورت مقالات عام نگاشته شده اند.

مشاهدات در دوره کلاسیک تاریخ جهان بسیار جزئی و ناقص می باشند، بدلیل آنکه دنیای کلاسیک در اطراف دریای مدیترانه خلاصه می شده، که جزر و مدها از اهمیت خاصی برخوردار نیستند. تاریخچه یونان و روم باستان و متون مذهبی (متون انجیل) مطالب زیادی درباره جزر و مدها بیان نمی کنند. قدیمی ترین مرجع در این باره نوشته های مورخ یونانی هردوت می باشد.

در سال ۳۲۵ قبل از میلاد شخصی به نام Pytheas که از مسلا (Massila) آمده و اقیانوس اطلس را تا مجمع الجزایر بریتانیا طی کرده بود متوجه ارتباط موجود بین جزر و مدها و ماه گردید. تا این زمان جزر و مدها پدیده های خیالی و فلسفی انگاشته می شدند. بعدها در حوالی سال ۷۷ بعد از میلاد که پلینی (Pliny) کتاب "تاریخ طبیعت" خود را به رشته تحریر درآورد، پدیده جزر و مد به طور منطقی شناخته و مشخص گردید. جزر و مد حاصل عمل ترکیبی خورشید و ماه بوده که در این میان ماه نقش تعیین کننده ای را ایفا می کند.

پس از دوران کلاسیک تا اوایل قرون وسطی دانش عمومی درباره پدیده جزر و مد توسعه بیشتری یافت. بدین ترتیب که در قرن هشتم Venerable Bede رساله ای با عنوان "رابطه موجود -

جزر و مد و امواج در بین انواع گوناگون حرکات آب دریاها، از مهمترین آنها هستند که بر روی آب اقیانوسها تا عمیق ترین قسمت حوضه های آن اثر می گذارد و عمل آنها را می توان پاسخی به نیروی اسرارآمیز جاذبه ماه دانست.

عمومیت جزر و مدها را می توان در کلمات (Venerable - Bede) چنین خلاصه نمود که: "در هر سرزمینی ماه پیمان همسگی خود را که مورد قبول همه است با دریا حفظ می کند... امواجی که توسط حرکات جزر و مدی ساخته می شوند از طولانی ترین انواع شناخته شده در اقیانوسها می باشند. این امواج به صورت بالا و پائین رفتن های موزون آب، در پاسخ به اثرات نیروهای نوسانی حاصل از جاذبه متنوع ماه و خورشید بوجود می آیند. در این باره مارمر (H.A. Marmer) می گوید: "جزر و مد دو بار در روز به صورتی موزون در پاسخ به نیروی تولید کننده اش بالا و پائین می رود"، این نیروها سبب به حرکت درآمدن آب تا اعماق دریا گردیده و موجبات پدیده هایی که به طور خلاصه جزر و مد نامیده می شوند را فراهم می سازند. دامنه جزر و مد در هر مکان ثابت نبوده و از روزی به روز دیگر متغیر است.

جزر و مدها در واقع پیچیده تر از آنچه که در ظاهر به دید عوام می آیند می باشند، زیرا نیروی جاذبه، که تصور می گردد به گونه ای متعادل بر تمامی نقاط کره خاکی اثر می گذارد، در واقع چنین عمل نمی کند. بنابراین ماهیت جزر و مد و وسعت آن به صورت مسئله ای که دارای ویژگیهایی است درمی آید.

میان دریا و ماه" ( On The Bond Between The Sea - The Moon & ) به نگارش در آورد و در قرن سیزدهم دانشمندی عرب<sup>۱</sup> به نام زکریا ابن محمد بن محمد خوارزم ، تئسی فیزیکی از عمل خورشید و ماه که سبب پدید آمدن جزر و مد می گردید را بیان نمود .

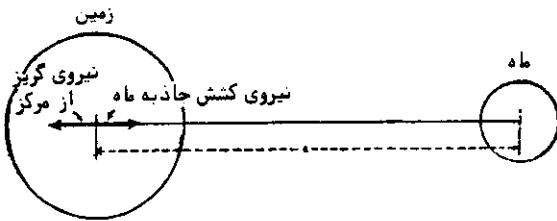
در سال ۱۶۸۷ اسحاق نیوتن برای اولین بار توضیحی منطقی از جزر و مد و نیروهای پدید آورنده آن که نشأت گرفته از ماه و خورشید می باشند عرضه داشت . وی ثابت نمود که دو جرم ، توسط نیرویی که تناسب مستقیمی با حجم آنها و در عین حال نسبتی معکوس با مربع فاصله بین آن دو دارد ، به جانب یکدیگر جذب می گردند . بدین ترتیب وی تئوری تعادل را مطرح نمود .

### نیروهای پدید آورنده جزر و مد :

جزر و مد پدیده‌ای است دریائی در پاسخ به نیروی کششی ماه و خورشید که ویژگیهای آن به طور پیچیده‌ای با تغییرات موقعیت این دو جرم جاذبه‌دار در رابطه می باشد . از این رو برای توضیح جزر و مد لازم است این نیروها به همان اندازه که به طور جداگانه بررسی می شوند به طور ترکیبی نیز بررسی گردند . همان طور که ابتدا گفته شد نیوتن اولین کسی بود که وجود نیروی کشش ثقلی را مطرح و وجود نیروی کششی را حتی بین کوچکترین قطره آب اقیانوس و بزرگترین ستاره جهان ( اگر چه ممکن است مقدارش دقیق نبوده ) را پیشنهاد کرد . به طور کلی در تئوری جاذبه بیان می شود که نیروی جاذبه نسبت مستقیم با جرم و تناسب معکوس با مربع فاصله بین آنها دارد . بدین معنی که جرم بزرگتر در مقایسه با جرم کوچکتر نیروی جاذبه بیشتری ایجاد می کند و جرمی که در موقعیت دورتری قرار دارد نیروی جاذبه کمتری نسبت به آنهایی که نزدیکتر را دارا می باشد .

بر اساس مطالب ذکر شده در بالا کشش جاذبه‌ای ماه که بر زمین اثر می کند بسیار قوی تر از سایر سیارات و ستاره ها بوده و این به خاطر نزدیکی اش به زمین می باشد . اگر چه ماه یکی از کوچکترین اجرام آسمانی است که فشارش را بر زمین وارد می کند . در شکل یک ، جرم ماه با  $m$  و زمین برابر واحد و فاصله بین مرکز زمین تا مرکز ماه با  $r$  نشان داده شده است . در نتیجه نیروی جاذبه ماه که بر مرکز زمین اثر می کند برابر  $\frac{m}{r^2}$  می باشد . خطی که نقاط شمال و جنوب را به هم متصل می سازند ( بر خطی که دو مرکز زمین و ماه را به هم متصل می سازد عمود می باشد ) مکان تمام نقاطی است که فاصله شان برابر با فاصله  $r$  می باشد ، بنابراین نیروی جاذبه از شمال به جنوب برای تمام نقاط همان  $\frac{m}{r^2}$  می باشد . اما نیروی جاذبه ماه برای تمام نقاط خط اتصال دو مرکز به علت اینکه قطر زمین ۸۰۰۰ مایل است مشابه نمی باشد . این بدان معنی است که سطحی از زمین ، که به طرف ماه قرار دارد ۴۰۰۰ مایل نسبت به مرکز زمین ، به ماه

نزدیکتر و دقیقاً" نقطه مقابل آن در طرف دیگر سطح زمین ۴۰۰۰ مایل ( یا ۸۰۰۰ مایل دورتر از آن سطحی که مقابل ماه می باشد ) نسبت به مرکز زمین از ماه دورتر می باشد ( مرکز ماه ۲۴۰۰۰۰۰ مایل از مرکز زمین و ۲۳۶۰۰۰۰ مایل از نزدیکترین سطح زمین نسبت به خودش فاصله دارد ) . بنابراین واضحاً" نتیجه می شود که



شکل ( ۱ - نمایش نموداری از کشش جاذبه‌ای بین زمین و ماه و نیروی گریز از مرکز که نیروی جاذبه را متوازن می نماید .

نیروی جاذبه ماه در سطح نزدیک به ماه بیشتر از مرکز زمین است . در اینجا لازم است نیروی با اهمیت دیگری که از ماه دور می شود ( دقیقاً" مخالف ) و بر مقدار  $\frac{m}{r^2}$  اثر می کند و در تمام نقاط زمین وجود دارد و مقدارش از سطح تا مرکز و از شمال به جنوب متغیر است توضیح داده شود . این نیرو به عنوان نیروی گریز از مرکز شناخته شده است .

به واسطه نوازی که بین جاذبه ماه و نیروی گریز از مرکز در روی خطی که از مرکز زمین گذشته و شمال و جنوب را به هم متصل ساخته برقرار است موقعیت مرکز زمین در یک مکان ثابت باقی می ماند و در نتیجه این اجرام که بر یکدیگر نیروی کشش جاذبه‌ای وارد می آورند تحت نفوذ حرکت نوسانی نمی باشند . اما به علت اینکه نسبت بین دو نیروی ذکر شده فوق در همه جا یکسان نیست ، در سایر قسمتهای زمین اختلاف نیروی پدیدار می شود که در نتیجه آن ، پدیده جزر و مد بر روی سطح زمین بوجود می آید . ( شکل دو ) .

برای توضیح عددی مطالب ذکر شده در بالا ، اگر  $P$  شعاع زمین باشد ، نیروی جاذبه زمین در سطح برابر  $\frac{m}{(R-P)^2}$  می باشد در حالیکه نیروی گریز از مرکز در اینجا همان  $\frac{m}{R^2}$  است و اختلاف نیروی برابر  $\frac{m}{R^2} - \frac{m}{(R-P)^2}$  را بوجود می آورد ، که به طور عددی برابر  $60/24P$  می باشد . به طور مشابه در نقطه مقابل آن روی سطح زمین اختلاف بین نیروها برابر با  $\frac{m}{(R+P)^2} - \frac{m}{R^2}$  و نیروی جاذبه ماه بر آن برابر  $\frac{m}{(R+P)^2}$  می باشد . به عبارت دیگر می توان گفت که در موقعیت  $A$  ( شکل دو ) نیروی جاذبه بیشتر از نیروی گریز از مرکز بوده و در موقعیت  $B$  هر دو نیرو یکدیگر را متوازن می سازند و در موقعیت  $C$  نیروی جاذبه ماه کمتر از نیروی گریز از مرکز می باشد .

معادلات زیر میزان اختلاف موجود بین این دو نیرو را نشان می دهند .

(علامت منفی نشان دهنده نیروها در جهت مخالف ماه می باشد).

$$\frac{m}{(r+p)^2} - \frac{m}{r^2} = -\gamma m \frac{p}{r^3}$$

$$\frac{m}{(r-p)^2} - \frac{m}{r^2} = \gamma m \frac{p}{r^3}$$

(علامت مثبت نشان دهنده نیروها در جهت ماه می باشد).

معادلات موجود این واقعیت را نشان می دهند که اندازه نیروی اغتشاش (یا نیروی مولد جزر و مد یا اختلاف بین این دو نیرو) در دو نقطه مقابل هم در سطح زمین که خط اتصال دو مرکز (زمین و ماه) از آنها می گذرد یکسان می باشد.

نیروی سبب کشش زمین است (یا نیروی جاذبه زمین که مستقیماً به طرف مرکز آن می باشد) همراه با نیروی بالائی در نظر گرفته می شود و مجموعاً "نیروی خالص ماه" که معادل  $\gamma \frac{2mP}{r^3}$  است را پدید می آورد.

این نیرو سبب کاهش یا افزایش شتاب ثقل (حالی که ممکن است در هر دو پهلوی سطح زمینی وجود داشته باشد) به میزان

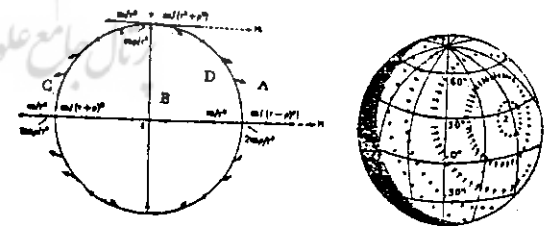
$0/0000115$  سانتیمتر بر محدود ثانیه در هر نقطه می گردد. بدین صورت که کاهش آن در یک نقطه توسط افزایش در نقطه مقابل بالائی می شود. در اینجا مولفه دیگری بحر نیروی جذب به سمت مرکز زمین وجود ندارد.

اما این نیرو دارای مولفه افقی و عمودی می باشد که روی سطح زمین نسبت به خط اتصال مراکز ماه و زمین به طرف شمال و جنوب عمل می کند. معادلات مربوطه آن از قرار زیر است:

$$\frac{1}{r} = \cos \theta \left( \frac{p}{r^3} - \frac{2m}{r^3} \right) = \text{مولفه عمودی}$$

$$\frac{1}{r} = \sin \theta \left( \frac{p}{r^3} - \frac{2m}{r^3} \right) = \text{مولفه افقی}$$

در این معادلات  $\theta$  زاویه بین خط اتصال دو مرکز زمینی و ماه و خط اتصال مرکز زمین به نقطه ای در روی سطح زمین می باشد.



شکل ۳ - نمایش نموداری نیروی مولد جزر و مد در صفحه ای که از خط اتصال دو مرکز ماه و زمین می گذرد ( سمت چپ ) . پراکندگی افقی نیروی مولد جزر و مد روی زمین (برطبق نظر ج. اچ. داروین) ماه در سمت الی (اوج) در بالای نقطه Z قرار دارد ( سمت راست ) .

تأثیر این نیروها با انتخاب نقطه D روی سطح زمین ( شکل دو) به خوبی ملاحظه می گردد. در اینجا بین نیروی جاذبه ماه و نیروی گریز از مرکز اختلاف نیرویی حاصل می شود که کمتر از اختلاف نیروی حاصل شده در نقطه A می باشد (به علت افزایش ناچیز - فاصله اش از مرکز ماه)، اما برعکس، افزایش ناچیز نیرو، در رابطه با دو مولفه نیروی جاذبه ذکر شده در بالا می باشد و شتاب ثقل در آن نقطه که عمود بر خط اتصال دو مرکز است برابر  $0/000085$  سانتیمتر بر محدود ثانیه می گردد.

بنابراین قاطعانه می توانیم بگوئیم، نیروی بوجود آورنده جزر و مد عبارت از تفاوت موجود بین نیروی جاذبه ماه و نیروی گریز از مرکز در یک مکان است، یا به عبارت دیگر نیروی گریز از مرکز در همه جا یکسان و برابر نیروی جاذبه ماه در مرکز زمین است. در نتیجه می توان گفت که تفاوت بین نیروی جاذبه ماه یا نیروی کششی در سطح و در مرکز زمین بوجود آورنده نیروی جزر و مد است مانند معادلاتی که هم اکنون درباره آنها بحث کردید. این امر زمانی که دو نیرو به ترتیب ۳۰ و ۳۱ باشند منجر به کسری از  $\frac{1}{30}$  می شود.

حالت مشابه از نیروی مولد جزر و مد اگر چه مقدارش متفاوت می باشد در مورد خورشید صادق است. فاصله بین خورشید تا مرکز و سطح زمین به ترتیب برابر  $930000000$  و  $9299960000$  مایل است. نیروی جاذبه  $930000000$  و  $9299960000$  به نسبت  $100000000$  و  $1000000086$  می باشد. در نتیجه نیروی تولید کننده جزر و مد حاصله در مرکز  $\frac{86}{1000000000}$  نیروی جاذبه خورشید می باشد. علاوه بر جرم خورشید  $2500000000$  برابر جرم ماه است اما به علت فاصله بسیار طولانی نیروی مولد جزر و مدی که تولید می کند برابر  $\frac{86 \times 169}{1000000000}$  نیروی جاذبه ماه در مرکز زمین است. بدین معنی که  $\frac{1}{4}$  نیروی مولد جزر و مد ماه می باشد.

جنکینز (Jenkins) قدرت نیروی مولد جزر و مد ماه و خورشید را به نسبت  $\frac{11}{5}$  محاسبه نموده است. ارتفاع مد در رابطه با نیروی جاذبه ماه حدود ۳۵۶ میلیمتر و در رابطه با نیروی جاذبه خورشید برابر ۱۶۴ میلیمتر است.

امکان تأثیر پذیری زمین از نیروی جاذبه سایر اجرام آسمانی با توجه به فاصله زیادشان از اهمیت قابل ملاحظه ای برخوردار نمی باشد. بر اساس ۷۰ مرتبه حجم بزرگتر و ۱۰۰ بار فاصله بیشتر ونوس، نیروی پدید آورنده جاذبه اش در مقایسه با ماه برابر  $\frac{70}{100 \times 100 \times 100}$  می شود، بنابراین جزر و مد ونوس در مقایسه با ماه که حدود تغییرات جزر و مدش ۱۰۰ فوت می باشد باید  $\frac{1}{10}$  اینچ گردد. نتیجه مشابه برای سیاره مشتری با توجه به اینکه نیروی مولد جزر و مدش کمتر از  $\frac{1}{1000000}$  ماه است و برابر  $\frac{260000}{105000 \times 105000 \times 105000}$  می باشد، حاصل گردیده است. در

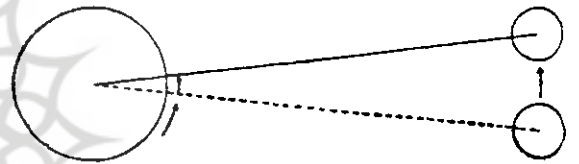
نتیجه در میان تمام اجرام آسمانی خورشید و ماه تنها نیروهای هستند که سبب بالا و پائین رفتن آب دریاها در روی زمین می‌گردند.

نیروهای پدید آورنده جزر و مد که ذکر آن رفت تأثیر زیادی بر سطح خاکی زمین نداشته، اما آب اقیانوس تحت تأثیر آن بالا آمده و سبب ایجاد جزر و مد می‌گردد.

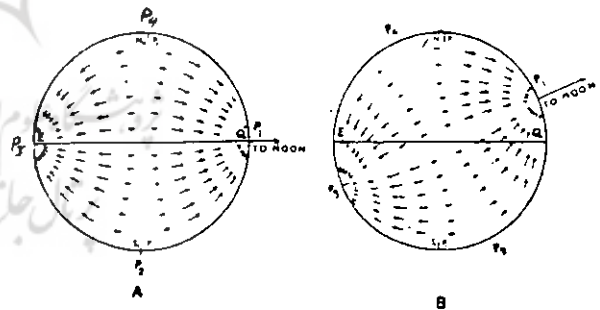
### پراکندگی نیروهای مولد جزر و مد در سطح زمین:

پراکندگی عمومی نیروی پدید آورنده جزر و مد سبب بالا آمدن عمودی آب در نصف‌النهارات ( زیر ماه ) می‌شود. اما شدت و جهت جزر و مد در شمال و جنوب این منطقه در طول‌های جغرافیایی مشابه متفاوت است که حاصلش یک مولفه در جهت طول جغرافیایی بوده و در نتیجه حرکت عمومی آب عمودی نخواهد بود.

میزان نیروی مولد جزر و مد برطبق تغییر موقعیت اجرام آسمانی در رابطه با یکدیگر، تغییر می‌یابد، بنابراین زمان جزر و مد و بالا آمدگی‌های جزر و مدی در هر مکان روی سطح زمین متفاوت می‌باشد.



شکل ( الف - ۳ )، تغییرات روزانه در زمان بوقوع پیوستن مد.



شکل ( ب - ۳ )، پراکندگی نیروی جزر و مد ماه ( الف ) روی خط استوا و ( ب ) در شمال خط استوا.

### نیروی قمری و تغییر موقعیت ماه:

در رابطه با عامل فاصله، شدت نیروی جزر و مد برای مکانی درست در زیر ماه بیشتر از سایر نقاط سطح زمین خواهد بود، بنابراین در مکان  $P_1$  حداکثر کشش پدید می‌آید و سبب بوجود آمدن مد می‌شود. در همین زمان در نقطه  $P_3$  که درست نقطه مقابل  $P_1$  است در رابطه با فرمولی که قبلاً و فرایندهایی که

معداً توضیح داده خواهد شد مد بوجود می‌آید. در حالیکه دامنه جزر و مد در  $P_2$  و  $P_4$  که از نیروی حاذبه ماه دور هستند کمتر خواهد بود. بنابراین در یک زمان در سطح زمین دو مد و دو جزر بوجود خواهد آمد.

آنجنانکه می‌دانیم زمین در جهتی از غرب به شرق می‌چرخد، نقطه  $P_1$  در زیر ماه ثابت باقی خواهد ماند، بلکه حرکت کرده و سایر نقاط روی سطح زمین حای آنرا خواهند گرفت.

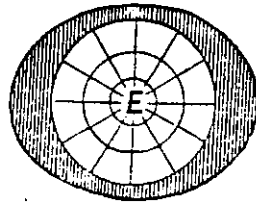
در حالیکه زمین یک چرخش کامل را در ۲۴ ساعت انجام می‌دهد، نقاط  $P_1$  و  $P_2$  و  $P_3$  و  $P_4$  بعد از مدت زمان ۶ ساعت به ترتیب در زیر ماه قرار می‌گیرند. بنابراین هر نقطه در روز یک مرتبه در زیر سطح ماه واقع شده و با دو مد و دو جزر مواجه می‌گردد. فاصله بین مد روز قبل و مد روز بعد (زیر ماه) ۲۴ ساعت خواهد بود، اما این حالت فقط ناشی از چرخش زمین نمی‌باشد بلکه ماه نیز در همان جهت به دور مرکز نقل زمین می‌چرخد. پس از طی ۲۴ ساعت نقطه  $P_1$  یک دور کامل زده در حالیکه ماه به اندازه ناچیزی به طرف جلو حرکت کرده است. بنابراین نقطه  $P_1$  در روی سطح زمین زمان بیشتری لازم دارد. ( در حدود ۵۰ دقیقه ) تا در روز بعد آنجنانکه در شکل ( الف - ۳ ) نشان داده شده است در زیر ماه قرار بگیرد. از این رو جمع کل مدت زمان لازم جهت کامل شدن شکل جزر و مد در هر نقطه ۲۴ ساعت و ۵۰ دقیقه خواهد بود، بدین صورت که هر روز مد ماه ۵۰ دقیقه دیرتر از روز قبل پدید خواهد آمد که این امر تحت عنوان تأخیر زمانی ( Time-Lag ) شناخته شده است اگرچه حرر و مدی که توسط نیروی حاذبه خورشید در یک نقطه بوجود می‌آید در روز بعد به جای ۲۴ ساعت و ۵۰ دقیقه دقیقاً پس از ۲۴ ساعت تکرار خواهد شد، در نتیجه اختلافی در زمان پدید آمدن جزر و مد حاصل از خورشید و ماه وجود دارد.

### جزر و مد و موقعیت نسبی خورشید، ماه و زمین:

هر نقطه روی اقیانوس تحت تأثیر دو نیروی خورشید و ماه قرار می‌گیرد که هر کدام سعی به پدید آوردن شکل بیضوی جزر و مد خودشان را دارند. نیروهای خورشید و ماه می‌توانند مشترکاً عمل کرده و ترکیبی از دو شکل بیضوی جزر و مد بالا را بوجود آورند یا می‌توانند در جهت مخالف یکدیگر عمل کرده که در این حالت نیز شکل بیضوی جزر و مد متفاوتی تشکیل خواهد شد. موقعیت‌های گوناگون خورشید، ماه، و زمین و نتایج حاصله از آن به قرار زیر می‌باشد:

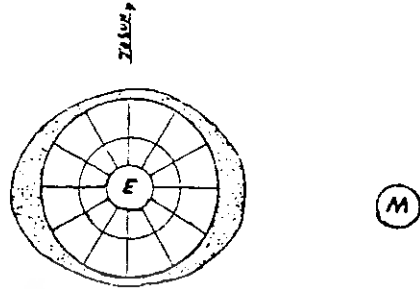
(۱- ماه در محاق و بدر: وقتی که مرکز خورشید، ماه و زمین تقریباً در یک امتداد قرار داشته باشند یعنی در حالت ماه کامل و ماه نو آنجنانکه در شکل چهار نشان داده شده است، این اجرام متحداً کششی را بوجود می‌آورند که نتیجه‌اش حاصل شدن حداکثر جزر و

مد می‌باشد. در این زمان شکل بیضوی جزر و مد تشکیل شده توسط این اجرام آسمانی به یکدیگر افزوده می‌گردد.



به سمت خورشید (M)

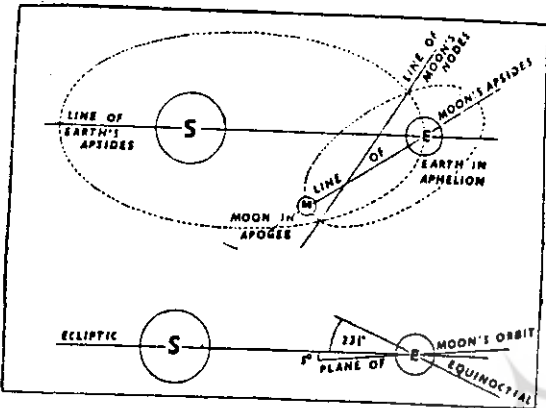
شکل (الف - ۴) ، جزر و مد حداکثر



شکل (ب - ۴) ، جزر و مد حداقل

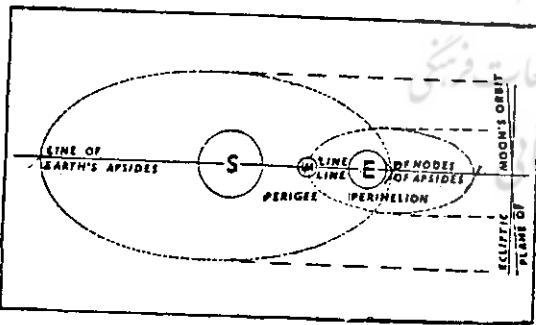
حیضی) را با زمین دارد جزر و مد بالاتر از حد معمول و وقتی که دورترین فاصله (دراوج) را از زمین دارد جزر و مد پائین‌تراز حد معمول می‌باشد.

این دوره‌های اوج و حیض در طی یک ماه قمری دو بار پدید می‌آیند. جزر و مد حدود ۲۰ درصد بالای حد متوسط در حیض و حدود ۲۰ درصد پائین‌تراز حد متوسط در اوج می‌باشد زیرا تغییرات نیروی جزر و مد با مکعب فاصله به نسبت عکس می‌باشد. شرایط مشابهی در مدار گردش زمین به دور خورشید نیز یافت می‌شود.



شکل ۵ - نمایش تغییرات دوره طولانی در نیروهای مولد جزر و مد وقتی که ماه در حیض و زمین در اوج می‌باشد.

بدین صورت که در طی حیض که زمین ۹۱/۴۰ میلیون مایل از خورشید فاصله دارد جزر و مد بالاتر از زمان اوج که زمین ۹۴/۵ میلیون مایل از خورشید فاصله دارد می‌باشد. این دوره‌ها دو بار در یک سال شمسی حادث می‌گردد.



شکل ۶ - نمایش تغییرات دوره‌های طولانی مدت در نیروهای مولد جزر و مد وقتی که ماه در حیض و زمین در اوج می‌باشد. خط اوج و حیض (Apside) زمین، خط اوج و حیض (Apside) ماه و خط‌گره (Nodes) روی هم منطبق خواهند بود. این مورد شکلی از یک حداکثر مطلق می‌باشد.

۵ - تغییرات دوره‌های طولانی مدت در نیروهای مولد جزر و مد: علاوه بر تغییرات فوق که توضیح داده شد دوره‌های طولانی تری

۲ - ماه در تربیع: وقتی که خط اتصال مراکز این سه جرم آسمانی تقریباً "نسبت به یکدیگر عمود باشند" چنانکه در شکل (ب - ۴) نشان داده شده است، نیروهای جزر و مد عمود یا مخالف یکدیگر خواهند بود. این شرایط حداقل، جزر و مد حقیقی را پدید می‌آورد که به بلندی حالت تسلی نمی‌باشد. در این زمان شکل بیضوی دو جزر و مد در جهت مخالف یکدیگر هستند.

۳ - اثر تغییرات میل: عامل میل حالتی کاملاً پیچیده از جزر و مد را بوجود می‌آورد. میل صفحه استوای زمین نسبت به صفحه مدار انتقالی زمین (Ellipse) زاویه‌ای معادل  $23\frac{1}{4}$  درجه و میل صفحه مدار چرخش ماه به دور زمین نسبت به صفحه مدار انتقالی برابر ۵ درجه می‌باشد. بنابراین نیروی جاذبه ماه و خورشید در یک نقطه روی استوای زمین غیر نرمال است.

وقتی که خورشید در اعتدالین است و عمود بر خط استوا می‌تابد میزان میل صفر می‌باشد به طوری که در بعضی مواقع ماه در مدت دو هفته در روی استوا با میل صفر درجه حرکت می‌کند. در این زمان در رابطه با تأثیر مرکز نیروهای خورشید و ماه یک جزر و مد حداکثر حاصل می‌گردد. در طی انقلابین در ماه‌های تابستان و زمستان زاویه انحراف بین ماه و خورشید به حداکثر خود می‌رسد و از این رو، نیروی کمتری نتیجه می‌شود که این امر تولید جزر و مد حداکثر معمولی را می‌نماید.

۴ - مدار اجرام آسمانی: ماه در یک مدار بیضوی به دور زمین می‌چرخد و از این رو بعضی مواقع وقتی ماه نزدیک‌ترین فاصله (در

از تغییرات بر نیروهای جزر و مد تأثیر می‌کند.

در شکل ۵ مدار بصری گردش ماه و زمین دارای خط‌اوج و حضیض می‌باشد که توسط محور اصلی تشکیل شده است. این خطوط می‌چرخند، بدین صورت که خط‌اوج و حضیض رزمی بسیار کند حرکت می‌کند اما خط‌اوج و حضیض ماه در دوره‌ای حدود ۸/۸ سال می‌چرخد. صفحات این دو مدار گردش در خطی که خط‌گره (Nodes) نامیده می‌شود و در دوره‌ای حدود ۱۸/۶ سال می‌چرخد یکدیگر را قطع می‌کنند بعلاوه آنجا که در شکل ۶ نشان داده شده است بعد از فاصله زمانی حدود ۱۰۶۰۰ سال موقعیت این اجرام آسمانی به صورت: زمین در حضیض، ماه در حضیض و ماه و خورشید در اقتران یا در جهت مخالف یکدیگر خواهد بود و این شرایطی است که در آن نیروی جزر و مد حداکثر مطلق بتأسیل خود را خواهد داشت. زمان وقوع این جنب حد اکثرهای مطلق محاسبه گردیده است بدین صورت که در سال ۳۵۰۰ قبل از میلاد، ۱۹۰۰ میلاد و ۲۵۰۰ قبل از میلاد، ۱۴۳۳ بعد از میلاد و بعدی آن در آینده در سال ۳۳۰۰ میلادی خواهد بود.

فوت می‌باشد در حالیکه در برست حدود ۱۵ فوت است. مثال مشخص دیگری از عدم تأثیر کامل طول و عرض جغرافیایی بر جزر و مد در دو طرف کانال پاناما قابل مشاهده است.

بعدها معلوم شد که شکل ناهموار کف کانال همراه با عمق‌های مختلف آن و تأثیر نیروی اصطکاک در دو طرف کانال سبب می‌شود که جزر و مد فوراً مشاهده نشود اما مقدارش با تغییرات موقعیت ماه و خورشید و زمین برابر می‌باشد.

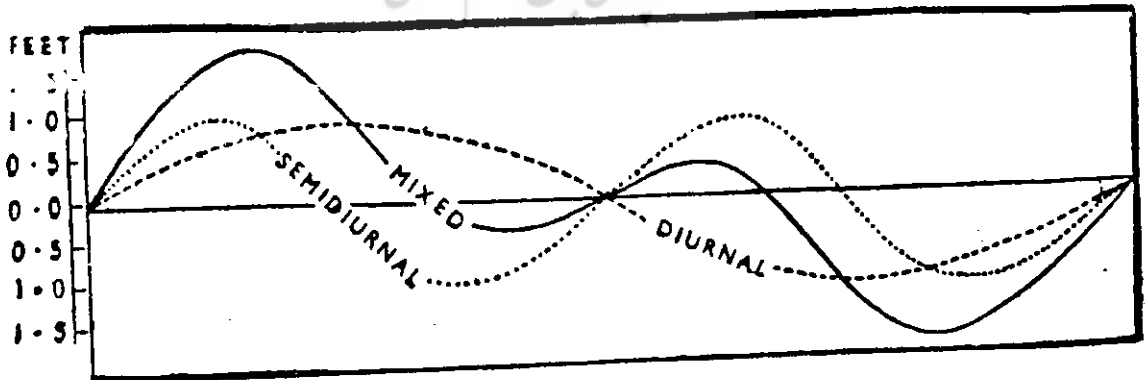
واکشش توده آب در برابر نیروهای تولید کننده جزر و مد حاصله از خورشید و ماه، از چرخش و زاویه میل خورشید و ماه که تعیین کننده ویژگیها و نوع جزر و مد می‌باشد تأثیر می‌پذیرد. نیروی حاصله از چرخش، بدید آورنده نیروهای نیمه‌شانه روزی است که در یک سیکل کامل در نصف روز عمل می‌کنند، در حالیکه انحراف زاویه سبب ایجاد نیروهای شانه روزی در یک سیکل کامل طی یک روز می‌شود که جزر و مد روزانه را سبب می‌گردند.

سایر این انواع اصلی جزر و مد در شکل ۷ به قرار زیر نشان داده شده است:

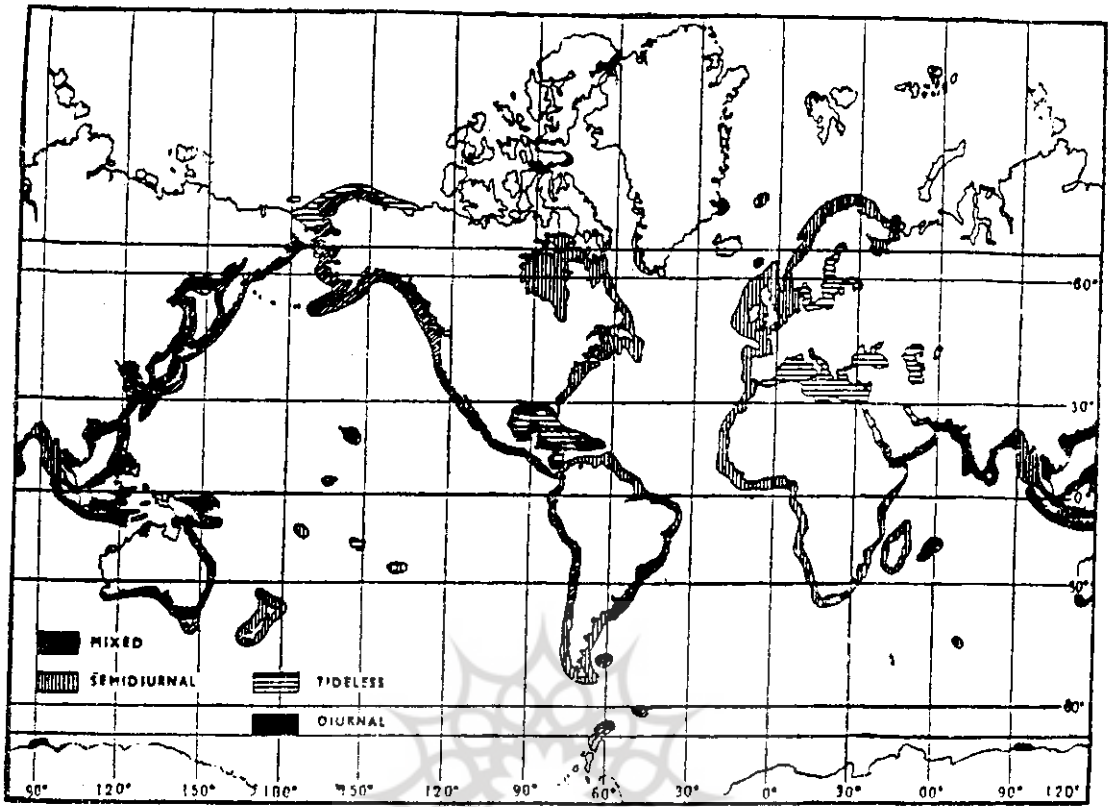
### انواع جزر و مد:

- ۱- جزر و مد نیم‌شانه‌روزی (Semi-diurnal tides) هر  $12\frac{1}{2}$  ساعت تکرار می‌شود.
- ۲- جزر و مد شانه روزی (Diurnal tides) هر  $24\frac{2}{3}$  ساعت تکرار می‌شود.
- ۳- جزر و مد ربع‌شانه‌روزی (Quarter-diurnal tides) سیار استثنائی.
- ۴- مهکشد یا جزر و مد حداکثر (Spring tides) هر دو هفته یک بار تکرار می‌گردد و به گردش و زاویه میل ماه بستگی دارد.
- ۵- کهکشد یا جزر و مد حداقل (Neap tides) هر دو هفته یکبار تکرار گردیده و به گردش و زاویه میل ماه بستگی دارد.

جزر و مد نشان دهنده برخورد متضاد نیروهای کیهانی است که حداکثر به طور معادل بر آب دریا تأثیر می‌گذارند. ویژگیهای جزر و مد در فواصل کوتاه جغرافیایی به طور زیادی تغییر می‌کند. جزر و مد پدیده ساده‌ای است که رابصداً محاسبه می‌کند نبوده و هم‌چنین پدیده‌ای است که تحت تأثیر عرض جغرافیایی محل باشد، زیرا شدت آن به عرض جغرافیایی بستگی ندارد. مثلاً "ست جونز (سیوفولند) و برست (فرانسه) با وجود اینکه روی یک عرض جغرافیایی هستند دارای ارتفاع جزر و مد متفاوتی می‌باشند، بدین صورت که ارتفاع مد در سیوفولند  $1\frac{1}{3}$  تا  $3\frac{1}{3}$



شکل ۷- انواع جزر و مد.



شکل ۸ - انواع جزر و مد در روی نقشه جهان .

### یادداشتها

- ۱ - درگیا این محمد بن خوارزم دانشمند ایرانی است که در کتاب از او به عنوان دانشمند عرب یاد شده است . م .
- ۲ - آب در اثر جزر و مد به شکل بیضی درمی آید و هر یک از این اجرام ( خورشید و ماه ) آب را در اطراف زمین به شکل بیضی که مربوط به خودشان است درمی آورند . م .

۶ - جزر و مد ماهانه که مربوط به گردش و موقعیت ماه در اوج و حسی است .

۷ - مهکسد اعتدالیبی ( Equinocitial spring - tides ) که به فاصله هر نش ماه یک بار تکرار می شود و در رابطه با گردش زمین به دور خورشید و تغییرات زاویه میل خورشید می باشد .

۸ - جزر و مد سالانه - که در رابطه با گردش زمین و موقعیت آن در اوج حسی است .



#### جزر و مد

از کتاب : اقیانوس‌شناسی برای جغرافیدانها ،  
( Oceanography for Geographers )  
تألیف : ر. س. شارما و م. واتال