

بررسی عوامل مؤثر در تعیین شکل مداری ماه

احسان مهرجوا

(کارشناس فیزیک ، عضو و مدیر پایگاه اینترنتی گروه غیرحرفه ای رویت هلال)

لغات کلیدی :

شکل مداری ماه ، انحراف اصلی ، وردش ، انحراف سالیانه ، طول دایره البروجی ، عرض دایره البروجی ، طول متوسط ماه ، آنومالی متوسط ماه

چکیده :

موضوع ماه ، حرکت آن و در نهایت بدست آوردن شکل مداری آن همواره از اهمیت زیادی در علم مکانیک سماوی برخوردار بوده است. ساده ترین حالت برای بررسی وضعیت مداری یک جرم سماوی ، استفاده از مدار مختل نشده ی کپلر است. اما می دانیم که عوامل بسیاری مدار را از حالت بیضی منظم خارج می کنند. در این مقاله به بررسی پارامترهای تاثیر گذار و نقش آن دسته از اختلالات مؤثر در تعیین شکل مداری ماه می پردازیم .

مقدمه :

بطور کلی حرکت ماه توسط دو جرم زمین و خورشید مشخص می شود. با تاملی بیشتر بر روی نیروهای گرانشی وارد بر ماه متوجه خواهیم شد که بیشترین تاثیر را خورشید بر روی ماه می گذارد و نه زمین که نزدیکترین جرم به ماه است. علیرغم اینکه نیروی گرانش رابطه عکس مجذوری با فاصله دارد و با افزایش فاصله کاهش می یابد اما نیروی گرانش خورشید بر روی ماه به واسطه جرم بسیار زیاد خورشید بیش از گرانش زمین است. برای نشان دادن این مساله به کمک اعداد و ارقام با دانستن فاصله زمین و ماه $r \approx 380.000km$ ، فاصله خورشید و ماه $R \approx 150.000.000km$ و نسبت جرم خورشید به زمین $\frac{M_{sun}}{m_{earth}} \approx 330.000$ ، طبق رابطه زیر خواهیم دید که تاثیر نیروی گرانشی خورشید بر روی ماه حدود ۲ برابر نیروی گرانشی زمین است :

$$\frac{F_{sun}}{F_{earth}} = \frac{\frac{M_{sun}}{R^2}}{\frac{m_{earth}}{r^2}} \approx 2$$

اگر از موقعیت نسبی خورشید، زمین و ماه چشم پوشی کنیم ، این دو نیرو همواره مولفه ای در جهت خورشید دارند که جهت آن هرگز تغییر نمی کند. در نتیجه می توان اینگونه عنوان کرد که ماه با فاصله ای در حدود ۱۵۰ میلیون کیلومتر در یک مدار بیضی گون پیرامون خورشید در گردش است و نوسانات ماهیانه ای را در طول مدار حرکتی خود به دور خورشید انجام می دهد. اما از آنجا که نیروی گرانش همواره به سوی خورشید لذا مدار ماه بر خلاف نوساناتش همیشه در جهت خورشید است.

تعیین دستگاه مختصات مرجع :

هر چند که مدار ماه عمدتاً توسط نیروی گرانشی خورشید تعیین می شود ، با این حال بررسی مدار حرکتی ماه در دستگاه مختصات خورشید مرکزی چندان معقول و جالب به نظر نمی رسد. ماه در حال گردش به دور زمین است. نزدیکی ماه و زمین باعث می شود تا تقریباً نیروی یکسانی از سوی خورشید به هر دو وارد شود. اگر این دو نیرو کاملاً مساوی بودند آنگاه خورشید هیچگونه تاثیری بر موقعیت نسبی زمین و ماه نداشت و تنها باعث چرخش سالانه ماه به دور خود بود، در حالیکه گرانش زمین باعث حرکت ماهیانه ماه می شود. اختلاف بین نیروی وارد بر زمین و ماه از طرف خورشید چیزی در حدود $\frac{r}{R}$ برابر خود نیرو است و در نتیجه ۲۰۰ برابر کوچکتر از نیروی وارد شده بر ماه از طرف زمین است. بنابراین می بینیم که بهترین تحلیل و توصیف مدار ماه در دستگاه مختصات زمین مرکزی حاصل می شود. ماه در این دستگاه مختصات ، در یک مدار ماهیانه ی کپلری حرکت می کند و می دانیم که این مدار از طرف خورشید مورد اختلال واقع می شود.

ماه آنومالیک و ماه هلالی

بیضی متوسط مدار ماه دارای خروج از مرکز $e = 0.055$ است و با دایره البروج زاویه ای در حدود 5.1° می سازد. دوره گردش مداری ماه از یک حضیض زمینی تا اولین حضیض زمینی بعدی بطور متوسط ۲۷.۵۵ روز می باشد که اصطلاحاً *ماه آنومالیک* نامیده میشود. این مقدار در مقایسه با تعداد روزهای میان دو فاز ماه نو یا ماه کامل که ۲۹.۵ روز است و آن را *ماه هلالی* می گوئیم تقریباً دو روز کمتر است. این اختلاف دو روزه به دلیل حرکت خورشید در آسمان است که در هر ماه تقریباً 30° درجه می باشد. بعد از هر بار چرخش ماه به دور زمین حدوداً دو روز زمان لازم است تا ماه خود را با خورشید هماهنگ کند و همان فاز قبلی را داشته باشد.

بررسی اختلال های موجود در مدار حرکتی ماه

از سوی دیگر ماه به علت مدار خارج از مرکزش تغییراتی به میزان ۶.۳° از موقعیت متوسط خود نشان می دهد. به این بی نظمی که در واقع بزرگترین و آشکارترین بی نظمی ماه است *انحراف اصلی* ۳ گفته می شود. البته این اختلال متأثر از خورشید نیست و تنها وابسته به شکل بیضی مدار است. بطلمیوس در کتاب *Almagest* به این موضوع اشاره می کند که این نوع بی نظمی نمی تواند مدار ماه را بطور خوبی توصیف کند و در واقع او اولین کسی بود که متوجه ناهمواری مدار ماه شد. این اختلال که به علت موقعیت نسبی خورشید و ماه بوجود می آید به حدود ۱.۳° می رسد. مدتها بعد از او، *تیکو براهه* پیش از آنکه نیوتن اساس حرکت ماه را با استفاده از نیروی جهانی گرانش بیان کند، با استفاده از رصدهای دقیق خود موفق به کشف اختلال های *وردش* ۴ و *انحراف* ۵ سالانه شد.

همچنین خورشید ضمن ایجاد یک سری نوسان های بزرگ و کوچک متناوب در مدار حرکتی ماه، مجموعه ای از اثرات جانبی نیز بر روی ماه دارد که اصلی ترین آن چرخش آرام و آهسته صفحه مداری ماه است. خط گره های مدار که همان نقطه تلاقی مدار ماه با دایره البروج است در طی هر $18/6$ سال، یک دور کامل ۳۶۰° ای می زند و این در حالی است که انحراف مدار تقریباً ثابت می ماند. چرخش خط گره ها *وارون گرد* است که به مفهوم کاهش طول گره صعودی نسبت به نقطه اعتدال بهاری است و مقدار آن چیزی در حدود ۲۰° در هر سال می باشد.

از طرفی موقعیت حضیض زمینی، یعنی جهت گیری نیم محور اصلی مدار در فضا نیز دستخوش تغییر می شود. نقطه حضیض زمینی حرکتی مستقیم و همسانگرد که بیش از ۴۰° در سال است در امتداد مدار انجام می دهد. یک دور گردش کامل در حدود ۸.۵ سال به طول می انجامد.

درمدل های مختلف و رایج نظریه حرکت قمری به هنگام حرکت متوسط ماه و خورشید، از

پارامترهای متفاوتی استفاده می شوند که با داشتن رابطه ی :

$$T = \frac{JD - 2451545}{36525}$$

که JD تاریخ ژولینی زمان رصد می باشد، عبارتند از :

✓ طول متوسط ماه (L_0)

$$L_0 = 0/60643382^r + 1336/85522467^r.T - 0/00000313^r.T^2$$

✓ آنومالی متوسط ماه (l)

$$l = 0/37489701^r + 1325/55240982^r.T + 0/25650000^r.T^2$$

✓ آنومالی متوسط خورشید (l')

$$l' = 0/99312619^r + 99/99735956^r.T - 0/00000044^r.T^2$$

✓ میانگین فاصله ماه از گره صعودی (F)

$$F = 0/25909118^r + 1342/22782980^r.T - 0/00000892^r.T^2$$

✓ میانگین فاصله زاویه ای ماه، (اختلاف میان طول متوسط خورشید و ماه) (D)

$$D = 0/82736186^r + 0/85308708^r.T - 0/00000397^r.T^2$$

در عبارات مربوط به این پارامترها طول گره صعودی یعنی Ω بطور صریح مورد استفاده واقع نشده و از اختلاف

$$\Omega = L_0 - F$$

بدست آمده است.

اختلاف طول دایره البروجی ماه (λ) با طول متوسط به صورت مجموعه ای از جملات تناوبی است که پارامترهای آن D, F, l, l' هستند:

$$\lambda = L_0 + \Delta\lambda$$

بطوریکه:

$$\Delta\lambda = +22680''.\sin(l) \quad (\text{انحراف اصلی})$$

$$-4586''.\sin(l - 2D) \quad (\text{ناهمواری مدار ماه})$$

$$+2370''.\sin(2D) \quad (\text{وردش})$$

$$+769''.\sin(2l) \quad (\text{انحراف اصلی})$$

$$-668''.\sin(l') \quad (\text{انحراف سالانه})$$

$$-412''.\sin(2F) \quad (\text{کاهش دایره البروج})$$

$$\begin{aligned}
& -2121'' \cdot \sin(2l - 2D) \\
& -206'' \cdot \sin(l + l' - 2D) \\
& +192'' \cdot \sin(l + 2D) \\
& -165'' \cdot \sin(l' - 2D) \\
& +148'' \cdot \sin(l - l') \\
& -125' \cdot \sin(D) \\
& -110'' \cdot \sin(l + l') \\
& -55' \cdot \sin(2F - 2D)
\end{aligned}$$

همچنین در یک مدار مختل نشده، رابطه وابستگی عرض دایره البروجی (β) به صورت زیر می باشد :

$$\sin \beta = \sin i \cdot \sin u \Rightarrow \beta \approx i \cdot \sin u$$

یعنی به انحراف مداری i و موقعیت ماه در مدار بستگی مستقیم دارد. در رابطه فوق u شناسه عرض

نامیده می شود یعنی زاویه میان بردار مکان و خط گره ها.

با احتساب اختلال های خورشیدی که قبلا اشاره شد عرض ماه را می توان با اولین تقریب و نیز

اندکی اغماض به صورت زیر نوشت :

$$\beta \approx 18520'' \sin(s) + N$$

بطوریکه $S = F + \Delta S$. جملات مربوط به عبارت ΔS مشابه عبارت $\Delta \lambda$ می باشند بطوریکه اگر

اختلاف های عمده را در نظر بگیریم برای ΔS داریم :

$$\Delta S \approx \Delta \lambda + 412'' \sin(2F) + 541'' \sin(l')$$

کمیت N نیز شامل مجموعه ای از متغیرهاست که در اثر نوسانات زاویه ی مدار بوجود می آید :

$$N = -526'' \sin(F - 2D) + 44'' \sin(l + F - 2D) - 31'' \sin(-l + F + -2D) \dots$$

توصیف بسیار ساده شده ی بالا می تواند مفاهیم نظریه ی قمری را بشکل تقریبی مشخص و نحوه محاسبه طول و عرض دایره البروجی ماه را روشن نماید.

لازم به ذکر است که جهت سهولت از بکاربردن بسط سری β برای محاسبه خودداری کردیم.

بسطی که مهم ترین جملات آن عبارتند از :

$$\beta = 18461'' \sin(F) + 1010'' \sin(l + F) + 1000'' \sin(l - F) - 624'' \sin(F - 2D)$$

$$- 199'' \sin(l - F - 2D) - 167'' \sin(l + F - 2D) + \dots$$

اگرچه استفاده از این بسط بسیار آسان می باشد اما منجر به صرف انرژی زیاد و غیرضروری در هنگام محاسبه می شود چراکه هر جمله آن تنها شامل مضارب فردی از F می باشد در حالی که جملات بسط $\Delta\lambda$ و ΔS فقط شامل مضارب زوج F هستند.

بررسی اختلال های غیرخورشیدی

علیرغم اینکه عوامل اشاره شده در متن، بارزترین عوامل ایجاد اختلال در مدار کپلری ماه می باشند اما برای بررسی دقیق و کامل شکل مداری ماه می بایست نقش عوامل تاثیر گذار غیرخورشیدی را نیز در محاسبات لحاظ نمود. زیرا خورشید تنها جرمی نیست که در منظومه شمسی، مدار ماه را تحت تاثیر خود قرار می دهد. یک نظریه کامل قمری نمی تواند اختلال های سیاره را نادیده بگیرد. در میان سیارات منظومه شمسی بیشترین سهم اختلال مربوط به مشتری و زهره است. این اختلال ها که بر روی طول دایره البروجی تحمیل می شوند در تقویم تصحیح شده ی ۶ ماه مربوط به اداره سالنمای دریایی اینگونه محاسبه شده است :

$$\begin{aligned} \Delta\lambda_{plan} = & +0/82'' \sin(0/7736^r - 62/5512^r T) + 0/31'' \sin(0/0446^r - 125/1025^r T) \\ & + 0/35'' \sin(0/5785^r - 25/1042^r T) + 0/66'' \sin(0/4591^r + 1335/8075^r T) \\ & + 0/64'' \sin(0/3130^r - 91/5680^r T) + 1/44'' \sin(0/1480^r + 1331/2898^r T) \\ & + 0/21'' \sin(0/5918^r + 1056/5859^r T) + 1/44'' \sin(0/5784^r + 1322/8595^r T) \end{aligned}$$

$$+ 0/24'' \sin(0/2275^r - 5/7374^r T) + 0/28'' \sin(0/2965^r + 2/6926^r T) \\ + 0/33'' \sin(0/3132^r + 6/3368^r T)$$

اکنون تمامی مقادیر لازم را می دانیم. طول دایره البروجی ماه از جمع اختلال های خورشیدی و سیاره ای طول متوسط بدست می آید :

$$\lambda = L_0 + \Delta\lambda + \Delta\lambda_{plan}$$

لازم به ذکر است که در نظریه قمری براون که در اوایل قرن بیستم توسط E. W. Brown ارایه شد، یکی از مشهورترین تعابیر تحلیلی حرکت ماه را مشاهده می کنیم. با این حال امروزه هزاران جمله اختلالی در نظریات حرکتی ماه ایفای نقش می کنند که البته شاید تنها در پیشرفته ترین محاسبات کامپیوتری قابل بررسی باشند و در کاربردهای روزمره نیازی به اعمال آنها در محاسبات نیست چرا که افزودن هر چه بیشتر جملات اختلالی صرفاً باعث افزایش دقت محاسبات در حد کسره های بسیار کوچکی از ثانیه قوسی می شود.

-
۱. Anomalistic month
 ۲. Synodic month
 ۳. major inequality
 ۴. Variation
 ۵. annual inequality
 ۶. Improved Lunar Ephemeris

منابع :

1. M. Oliver & P. Thomas; Astronomy on the personal computer; 2000 Edition

2. E. W. Brown; An introductory treatise on the Lunar Theory; Cambridge university press (1986)

۳. نجوم کروی ، و.م. اسمارت ، ترجمه داود محمد زاده جسور، مرکز نشر دانشگاهی، تهران ۱۳۷۵