# محاسبهٔ بُعد مُعَدَّل از اوقات غروب ماه و خورشید*

ماشاءالله علی احیایی**

رؤیت سیارات در هر دورهٔ رؤیت آنها، پس از غروب خورشید برای نخستین بار، یا پیش از طلوع خورشید برای آخرین بار، موردتوجه منجمین بابلی در عصر سلوکیان بوده است. این موضوع در آثار به جای مانده از بطلمیوس نیز آمده، در صورتی که بطلمیوس رؤیت نخستین هلال ماه را موردتوجه قرار نداده است.[1] منجمین مسلمان ضوابط رؤیت هلال ماه را از قرن دوّم هجری به بعد وضع کردند، و دلیل آن تقویم قمری مسلمانان و انجام فرایض دینی بر مبنای آن بوده است. در این خصوص می‌توان از دانشمندانی چون یعقوب‌بن‌طارق[2]، قرن دوّم و محمدبن‌موسی خوارزمی[3]

---

* اقتباس از کتاب مؤلف با عنوان معیار رؤیت هلال ماه، بُعد سواء، بُعد معدّل که در دست انتشار است.

** کارشناس ارشد شرکت ملی نفت ایران و محقق در پاره‌ای از مسائل نجومی.

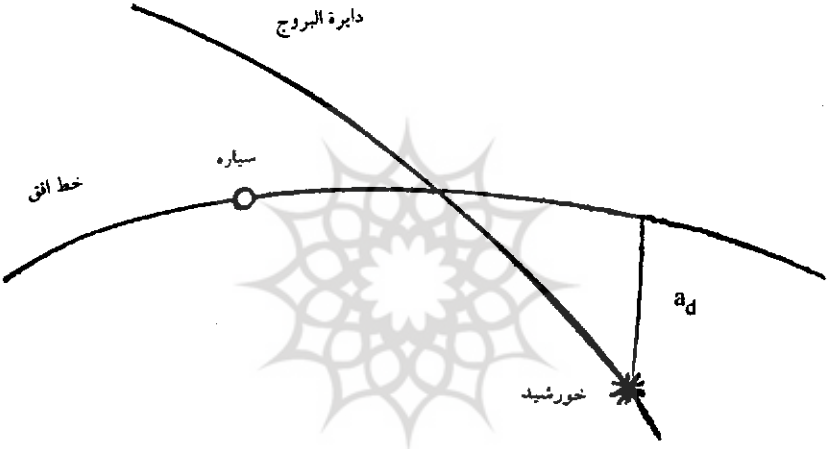
1. E. S. Kennedy and Muhammad Agha, "Planetary Visibilities in Islamic Astronomy", *Centaurus*, XII/1 (1960), 134-140.

2. E. S. Kennedy, "The lunar Visibility Theory of Yaqub Ibn Tariq", *Journal of Near Eastern Studies*, 27/2 (April 1968).

3. E. S. Kennedy and Mardiros Janjanian, "The Crescent Visibility Table in Al-Khwarizmi's Zij", Centaurus, 27/2 (1965).

در قرن سوم نام برد.

معیار بطلمیوس برای رؤیت سیارات، میزان درجات قرارگرفتن خورشید پس از غروب در زیر افق غربی رؤیت بوده است؛ بدین معنی که برای سیاره‌ای مشخص، اگر خورشید پس از غروب، مثلاً $a_d$ درجه زیر خط افق قرار می‌گرفت، و در آن وقت سیاره هنوز بالای افق بود، آن سیاره قابل رؤیت می‌بود (شکل ۱).




پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

**شکل ۱.** معیار بطلمیوس در رؤیت سیّارات. سیارهٔ معیّن در صورتی در افق دیده‌خواهد شد که خورشید به‌اندازهٔ مثلاً $a_d$ درجه زیر خط افقِ رؤیت قرارگرفته باشد.

معیار هندیان در رؤیت سیارات، براساس اوقات غروب خورشید و سیارهٔ موردنظر مبتنی بود، بدین‌ترتیب که اگر این اختلاف برابر یا بزرگتر از حدّ معینی بود، سیاره پس از غروب خورشید، رؤیت می‌شد. منجمین مسلمان خود براساس دانش موجود زمان، ضوابط دقیق و جالب توجهی وضع کردند که بیشتر براساس روش هندیان بوده است. اگر چه در

وضع ضوابط جدید، بر تفاوت اوقات غروب تأکید نشده است، امّا بررسی روشهای به کاررفته، مؤید آن است که روش هندیان مبنای کار بوده است.

روش ابداعی مسلمانان برای رؤیت اولین بار هلال ماه، که در بدو ابداع بسیار توسعه یافته بوده، نسل به نسل توسط دانشمندان مسلمان توسعه یافته و در زیجهای به یادگار مانده مضبوط است. زیج بهادر خانی[1]، که به زبان فارسی و در ۱۸۵۸/۱۲۵۷ منتشر شد، در قرن اخیر مبنای کار منجمین و تقویم‌نویسان سنتی در ایران بوده است، و روش کار قدما در پیش بینی رؤیت هلال ماه در آن آمده است. معیار کار در این زیج بر تعیین بُعد سواء و بُعد مُعَدَّل در غروب روز بیست و نهم ماه قمری هلالی استوار است، یعنی ماههای قمری که آغاز و پایان آن بر رؤیت نخستین هلال ماه پس از غروب خورشید مبتنی است.

محاسبه و پیش‌بینی وقت غروب خورشید به سبب تغییرات اندک میل خورشید (فاصلهٔ زاویه‌ای تا استوای سماوی) در طول شبانه‌روز، کار آسانی است. در مقایسه، محاسبهٔ وقت غروب ماه به علّت تغییرات بیشتر میل آن در طول شبانه‌روز، مشکلتر و امروزه هم نیازمند محاسبات حدس و خطاست. لذا، چنانکه در این مقاله بحث شده است، به نظر می‌رسد که دانشمندان اسلامی، به منظور رسیدن به محاسبهٔ اختلاف اوقات غروب ماه و خورشید، به وضع مشخصهٔ بُعد معدّل پرداخته‌اند.

متأسفانه در آثار منتشر شده در دهه‌های اخیر، اطلاعات دقیق و مدّونی دربارهٔ مشخصه بُعد سواء، و بویژه بُعد معدّل، و اینکه با ضوابط امروزی نجوم چگونه تعریف می‌شود، نیامده است. این امر از یک سو سبب بیگانگی نسل فعلی با میراث گرانقدر و اعجاب‌انگیز گذشتگان شده و از

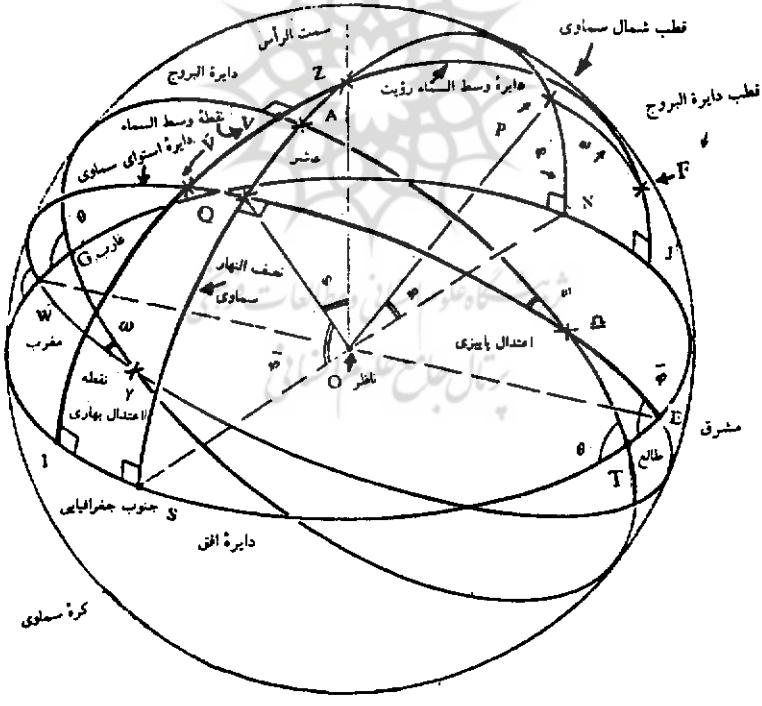
---

۱. غلامحسین جونپوری، *زیج بهادر خانی*، چاپ سنگی، کلکته، ۱۸۵۸.

سوی دیگر باعث بروز بحث و جدل بین منجمین و تقویم‌نویسان سنتی و عالمان نجوم امروزی و دانشگاهی شده است، و حال آنکه هر دو سوی قضیه با معیارهای خود، محقّ‌اند و داستان اختلاف بر سر لفظ عنب و انگور دربارهٔ جدل آنها مصداق پیدا می‌کند. پیش از پرداختن به اصل مطلب، به منظور سهولت فهم موضوع، به بعضی تعاریف و اصطلاحات اشاره می‌شود.

**پاره‌ای از اصطلاحات مربوط به دوایر عظیمهٔ نجومی**

در این نوشته، مجال تعریف کامل کلیّهٔ دوایر عظیمهٔ نجومی و اصطلاحات مربوط به آنها در نزد قُدما، موجود نیست، امّا سعی شده است در شکل ۲، پاره‌ای از دوایر عظیمهٔ نجومی برای ناظر مستقر در نقطهٔ O، نمایانده شود.




**شکل ۲.** نمایش پاره‌ای از دوایر عظیمه نجومی برای ناظر مستقر در نقطه O.

در این شکل، نقطهٔ Z، سمت الرأس ناظر O، نقاط S،W،N،E به ترتیب چهار جهت اصلی ناظر، یعنی مشرق، شمال، مغرب و جنوب جغرافیایی و نقطهٔ P قطب شمال سماوی است. دایرهٔ عظیمهٔ E⏢QV′W استوای سماوی یا معدل النهار، دایرهٔ عظیمهٔ NPZAQS نصف‌النهار سماوی و دایرهٔ عظیمهٔ T⏢AVG دایرة البروج است. نقطهٔ γ، محل برخورد استوای سماوی و دایرةالبروج، نقطهٔ اعتدال بهاری و اندازهٔ زاویه کروی WγG، یعنی زاویهٔ بین صفحات دایرهٔ استوای سماوی و دایرة البروج، برابر حدود ۲۳/۴۵ درجه و قدما آن را میل اعظم یا میلِ کلی می‌نامیدند، که در شکل با ω نشان داده شده است.

ملاحظه می‌شود که دایرةالبروج، دایرهٔ افق را در نقطهٔ T در سوی مشرق و در نقطهٔ G در سوی مغرب قطع کرده است. دو نقطهٔ T و G نزد قدما بترتیب طالع[1] و غارب[2] نامیده شده‌اند. نکتهٔ مهّم این است که، جای نقاط T و G مرتباً با گذشت وقت، تغییر می‌کند و محل آنها ثابت نیست، چه از دید ناظر به سبب حرکت وضعی زمین، محل دایرةالبروج در کرهٔ سماوی مرتباً در حال تغییر است. محلهای دو نقطهٔ طالع و غارب، نسبت به ناظر O واقع بر صفحهٔ افق، متقارن‌اند، زیرا این دو نقطه، محل برخورد دو دایرهٔ عظیمه، یعنی دایرةالبروج و دایرهٔ افق است.

در این شکل دایرهٔ عظیمهٔ IV′VZFJ نیز نمایانده شده است که از نقطهٔ سمت‌الرأس Z گذر کرده و بر دایرةالبروج عمود است (زاویهٔ کروی NV̂T نود درجه است). این دایره را قدما دایرهٔ وسط السماء رؤیت و محل برخورد آن با دایرةالبروج را نیز نقطهٔ وسط‌السماء[3] می‌نامیدند (نقطهٔ V). نقطهٔ F که بر روی این دایرهٔ عظیمه قرار دارد، قطب شمالی دایرةالبروج است، بدین معنی که فاصلهٔ این نقطه از تمام نقاط قرار گرفته بر دایرةالبروج برابر ۹۰ درجه

1. Ascending point 2. Descending point
3. Middle of the visible sky, Nonagesimal point

است. محلهای نقطهٔ F و نقطهٔ V نیز به حکم تغییر ظاهری محل دایرةالبروج از دید ناظر، مرتباً با گذشت وقت متغیر است. نقطهٔ A، محل برخورد دایرةالبروج و نصف‌النهار سماوی در نزد قُدما عاشر[1] نامیده می‌شد. در این شکل $\varphi$ برابر عرض جغرافیایی محل ناظر O است و $\bar{\varphi}$ متمم آن است.

**عرض اقلیت رؤیت**

ملاحظه شد که دایرةالبروج، دایرهٔ افق را در دو نقطهٔ T طالع و G غارب قطع می‌کند و همچنین دایرةالبروج در این دو نقطه با دایرهٔ افق، تشکیل دو زاویهٔ کروی برابر می‌دهد که در شکل ۲ زاویهٔ کروی $A\hat{T}S$ در نقطهٔ طالع و زاویهٔ کروی $V\hat{G}W$ در نقطهٔ غارب برابر $\theta$ نمایانده شده‌اند. اندازهٔ زاویهٔ $\theta$ نیز ثابت نیست و با گذشت وقت در شبانه‌روز متغیر است.

قدما متمم این زاویه $(\theta - 90^\circ)$ را، عرض اقلیم رؤیت[2] می‌نامیدند. در شکل ۲، می‌توان بسادگی ثابت کرد که کمان FZ، که فاصلهٔ قطب دایرةالبروج از سمت‌الرأس است، برابر $\theta$ است و به عبارت دیگر، اندازهٔ کمان FJ، یعنی ارتفاع قطب دایرةالبروج برابر عرض اقلیم رؤیت است. در حقیقت اطلاق عرض به آن به مناسبت مشابهت آن با ارتفاع قطب شمال سماوی یعنی کمان PN در شکل ۲ است که برابر عرض جغرافیایی محل $\varphi$ است. از طرف دیگر چون کمانهای FJ و VZ متمم کمان FZ اند، برابرند و در نتیجه می‌توان گفت که عرض اقلیم رؤیت نیز برابر عرض سماوی سمت الرأس ناظر است.

زاویهٔ کروی حاصل از برخورد دو دایرهٔ عظیمه برابر فاصلهٔ قطبهای آنهاست. به همین دلیل اندازهٔ کمان واصل بین قطب شمال سماوی یعنی نقطهٔ P و قطب شمال دایرةالبروج، یعنی نقطهٔ F نیز برابر $\omega$ است. امّا قبلاً گفتیم که محل نقطهٔ F به حکم تغییر محل ظاهری دایرةالبروج در افق رؤیت،

---

1. Midheaven or tenth locus, Culminating point
2. The latitude of visible climate

مرتباً در حال تغییر است، و بنابراین می‌توان گفت که قطب شمال دایرةالبروج در طول شبانه‌روز بر روی دایره‌ای به مرکز P و شعاع $\omega$=FP بر روی کرهٔ سماوی می‌گردد. نتیجه اینکه با تغییر محل نقطهٔ قطب شمال دایرةالبروج، اندازهٔ ارتفاع آن یعنی کمان FJ در شکل ۲ که عرض اقلیم رؤیت است، مرتباً تغییر می‌کند. با استفاده از فرمولهای ثابت شده[1]، دقیقاً می‌توان نتیجه گرفت که در تهران، در نقطه‌ای با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقهٔ شمالی، اندازهٔ عرض اقلیم رؤیت در طول شبانه‌روز حداقل از ۱۲ درجه و ۱۷ دقیقه تا حداکثر ۵۹ درجه و ۱۱ دقیقه تغییر می‌کند. مشخصهٔ عرض اقلیم رؤیت در محاسبهٔ بُعد معدّل حایز اهمیت است.

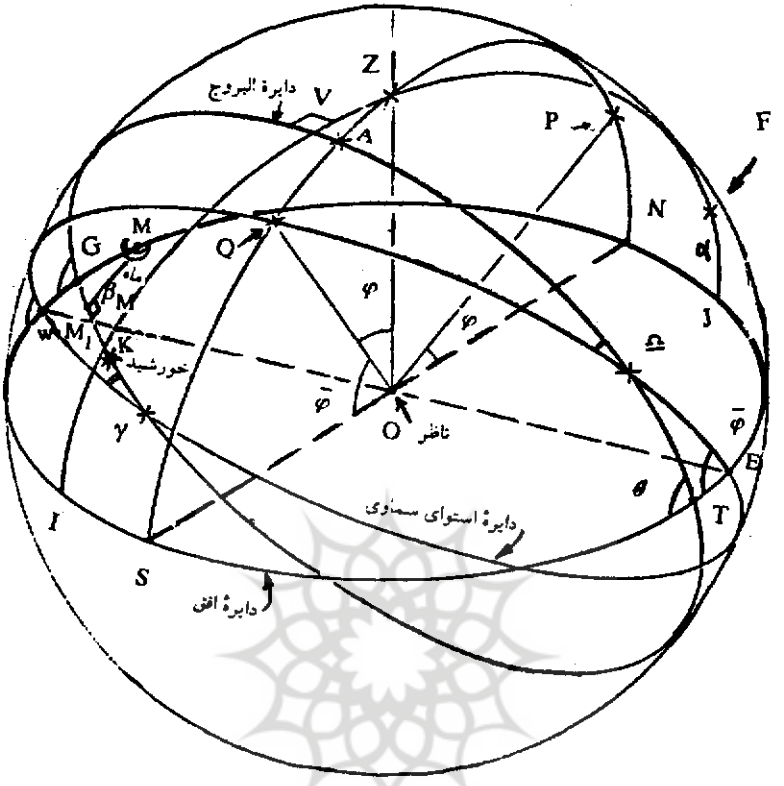
### تعدیل الغروب

علاوه بر عرض اقلیم رؤیت، در زیج بهادرخانی، مشخصهٔ دیگری با نام تعدیل‌الغروب تعریف شده است که محاسبهٔ آن خود به اندازهٔ عرض اقلیم رؤیت بستگی دارد. تعدیل‌الغروب کمانی است از دایرةالبروج، برای لحظه‌ای که مرکز ماه بر افق غربی قرار می‌گیرد. اگر از مرکز ماه قرارگرفته بر خط افق، دایرهٔ عرض سماوی (یعنی دایرهٔ عظیمه‌ای که از قطب شمال دایرةالبروج گذشته و بر دایرةالبروج عمود می‌شود) ترسیم گردد، کمانی از آن مانند کمان $MM_1$ در شکل ۳، بین مرکز ماه و دایرةالبروج قرار می‌گیرد که اصطلاحاً عرض سماوی ماه نامیده می‌شود. کمان تعدیل‌الغروب، کمانی از دایرةالبروج است که بین این کمان و افق غربی قرار می‌گیرد. در شکل ۳، کمان $GM_1$، تعدیل‌الغروب است. با این ترتیب فرمول محاسبهٔ تعدیل‌الغروب بآسانی با کاربرد روابط نِپِر، در مثلث کروی قائم‌الزاویه $MM_1G$ که در رأس $M_1$ قائمه است، حاصل می‌شود:

---

1. $\cos \theta = \sin \varphi \cos \omega - \cos \varphi \sin \omega \sin 15t$

ـ که در آن، t وقت نجومی است.




**شکل ۳.** نمایش کمان تعدیل الغروب بر دایرة البروج وقتی که مرکز ماه برافق غربی است. درمثلث کروی قائم الزاویهٔ $MM_1G$، زاویه $M_1$ قائمه وکمان $M_1G$ تعدیل الغروب است.

$$\sin GM_1 = \operatorname{tg}(90^\circ - MGM_1)\ \operatorname{tg} MM_1$$

$$\sin GM_1 = \operatorname{tg}(90^\circ - \theta)\ \operatorname{tg} MM_1$$

اگر کمان $MM_1$ را با $\beta_M$(عرض سماوی ماه) و عرض اقلیم رؤیت را با $\alpha$ مشخص کنیم:

$$\sin GM_1 = \operatorname{tg}(90^\circ - \theta)\ \operatorname{tg}\beta_M$$

$$\sin GM_1 = \frac{\operatorname{tg}\beta_M}{\operatorname{tg}\theta} = \frac{\operatorname{tg}\beta_M}{\operatorname{tg}(90^\circ - \alpha)}$$

$$\sin(\text{تعدیل الغروب}) = \frac{\operatorname{tg}(\text{عرض قمر})}{\operatorname{tg}(\text{متمم عرض اقلیم رؤیت})} \qquad (۱)$$

عبارتی که بیان‌کنندهٔ این فرمول است، در زیج بهادرخانی برای محاسبهٔ تعدیل‌الغروب آمده است که در ادامهٔ مطلب نقل خواهد شد. ملاحظه می‌شود که برای محاسبهٔ تعدیل‌الغروب، لازم است عرض سماوی ماه و عرض اقلیم رؤیت به هنگام غروب ماه تعیین گردد.

قدما گاهی برای سهولت محاسبه، به جای تعیین تعدیل‌الغروب، انحراف را محاسبه می‌کردند. انحراف به $\frac{۳}{۵}$ عرض سماوی ماه به وقت غروب اطلاق می‌شود. کاربرد این روش به زمانهای دور برمی‌گردد، چنانکه در اثر به جای مانده از یعقوب‌بن‌طارق نیز بیان شده است، اما به جای $\frac{۳}{۵}$ عرض قمر، $\frac{۲}{۳}$ آن را به کار می‌بردند.

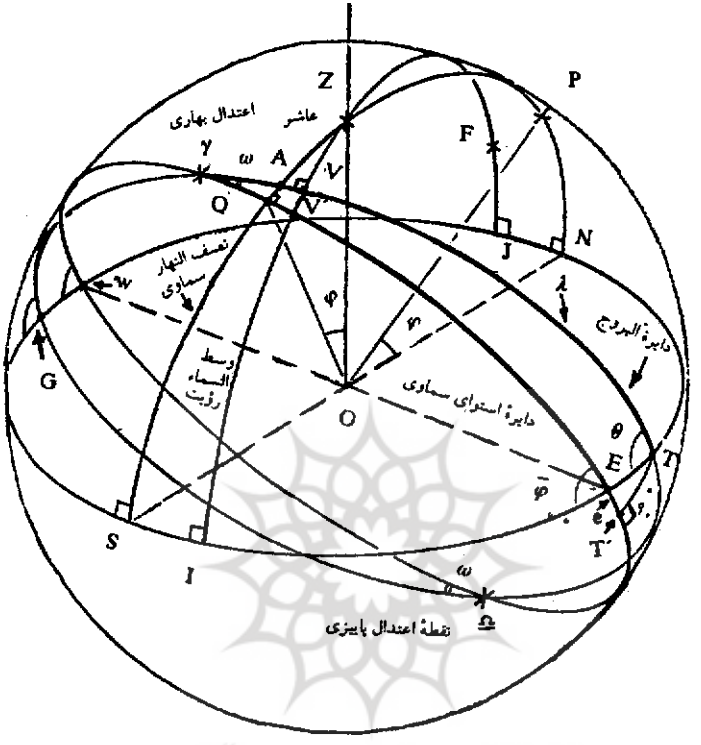
### مطالع بلد و مطالع

یکی از اصطلاحات نجومی که قدما به‌کار می‌بردند، مطالع بلد[1] یا مطالع‌البروج بلد است. همچنین قدما بُعد یک جرم سماوی (فاصلهٔ تصویر آن بر روی استوای سماوی تا نقطهٔ اعتدال بهاری) را مطالع[2] یا مطالع، مانند استوایی می‌نامیدند. اما مطالع بلد یک جرم سماوی با طول سماوی آنچه در شکل ۴ نمایانده شده است، کمانی از دایرهٔ استوای سماوی محصور بین $\gamma E$ نقطهٔ اعتدال بهاری و افق شرقی ناظر، به هنگامی است که آن مطالع بلد جرم سماوی بر افق شرقی قرار گرفته باشد. در این شکل کمان مطالع نقطهٔ T، با طول سماوی $\lambda$ ($\gamma T=\lambda$) است و کمان $\gamma\hat{T}$ استوایی آن است. اگر تفاوت مطالع بلد و مطالع را (e) بنامیم ($e=\gamma\hat{T}-\gamma E$)بآسانی می‌توان ثابت کرد که اندازهٔ کمان e که نزد قدما تعدیل‌النهار[3] نامیده می‌شد، از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\sin e = \operatorname{tg}\varphi \operatorname{tg}\delta \qquad (۲$$

1. Oblique ascension 2. Right ascension
3. The equation of (half the) day light

در این رابطه، $\delta$ میل اوّل یا فاصلهٔ زاویه‌ای نقطهٔ T از نصف النهار سماوی ($T\hat{T}=\delta$) است.




**شکل ۴.** کمان $\gamma E$ مطالع بلد نقطهٔ T با طول سماوی ($\gamma T = \lambda$) است، وقتی که نقطهٔ T بر افق شرقی قرار گرفته باشد و کمان $\gamma T'$ مطالع استوایی آن است. کمان $ET' = e$ تعدیل‌النهار است.

### بُعد سواء

دربارهٔ بُعد سواء در *لغتنامهٔ* دهخدا چنین آمده است: "بُعد سواء نزد اهل عمل از منجمان عبارت است از بُعد بین تقویم آفتاب و ماه (از: *کشاف اصطلاحات فنون*)." در کتاب عباس ریاضی کرمانی[1]، دربارهٔ مقولهٔ بُعد سواء

---

۱. عباس ریاضی کرمانی، *حل المسائل نجوم، مثلثات کروی، تمرینات، جداول نجومی*، تهران ۱۳۴۵، ص ۱۱۲.

و بُعد معدّل، فقط در چارچوب طرح یک مسئلهٔ پیش‌بینی رؤیت، با ذکر اندازه‌های این دو بُعد برای تاریخ معینی، از آنها نام برده شده و هیچگونه توضیح و تشریحی دربارهٔ این دو مشخصه و نحوهٔ محاسبهٔ آنها داده نشده است.

اگر کلمهٔ بُعد را به معنی اختلاف یا تفاوت بگیریم، تعریف بُعد سواء، درست است. چه اصطلاح تقویم در نزد قُدما به معنی طول دایرةالبروجی یک جرم سماوی نیز بوده است. درحقیقت بُعد سواء به معنی تفاوت طول دایرةالبروجی ماه و خورشید در غروب روز بیست و نهم ماه قمری هلالی است. ملاحظه می‌شود که در موضوع بُعد سواء، مشکل چندانی وجود ندارد دو اساس کار، در مشخصهٔ بعد معدّل است.

### بُعد مُعَدَّل

توضیح بُعد معدّل در لغتنامهٔ دهخدا به این صورت است: "نزد منجمان عبارت است از دوری ماه از افق به درجات معدّل، چنانکه این معنی از توضیح التقویم مستفاد شده است (از: کشاف اصطلاحات الفنون)." برای کلمهٔ معدّل هم آمده است: "نزد اهل هیئت عبارت است از چیزی که تعدیل در آن واقع شده باشد، چنانکه گویند وسط مُعَدَّل (از: کشاف اصطلاحات الفنون)."

اگرچه توضیح *لغتنامهٔ* دهخدا از واقعیت زیاد به دور نیست، امّا کمکی به چگونگی محاسبهٔ این مشخصه و تعریف جزء به جزء آن نمی‌کند.

### روش پیش‌بینی رؤیت هلال در زیج بهادرخانی

قبل از ذکر هر توضیحی، مطلبی از زیج بهادرخانی[1] درخصوص پیش‌بینی رؤیت هلال عیناً نقل می‌شود:

---

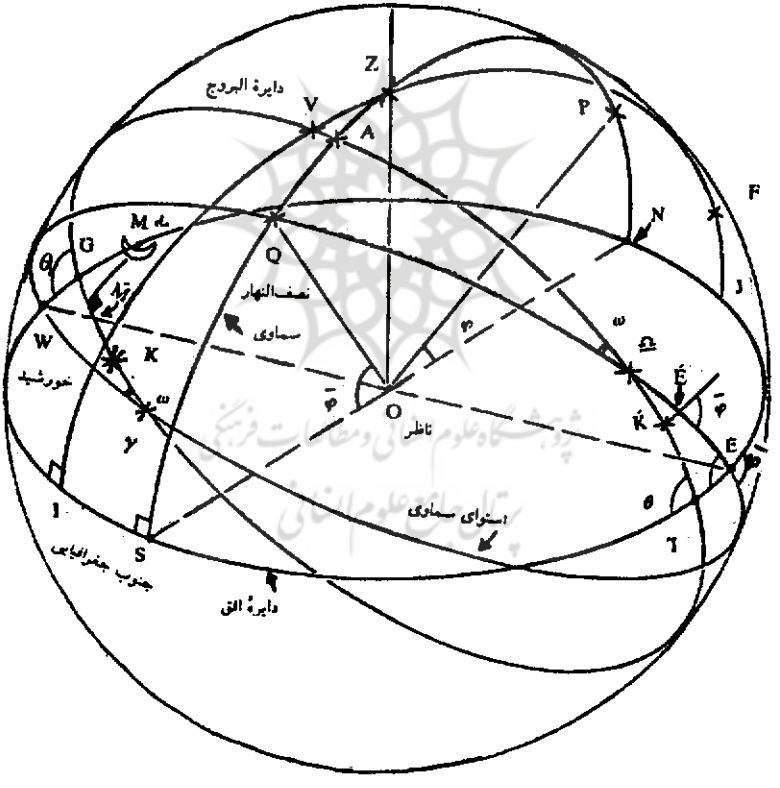
۱. جونپوری، زیج بهادرخانی، ص ۵۵۷.

«در رؤیت هلال، مراد از رؤیت، رؤیت طبیعی است نه ارادی که به توسط منظارهای جیده ببینند، چه در این حالت هلال قبل از آنکه به حدّ رؤیت رسیده باشد، دیده می‌شود و رؤیت طبیعی نیز متفاوت است به چند سبب: اوّل، اختلاف تقاطع منطقةالبروج با افق چه در صورت عظمت زاویهٔ قمر از سطح افق ارفع باشد از آنکه زاویهٔ تقاطع اصغر باشد. دوّم، اختلاف عرض در جهت شمال و جنوب مع قلّت و کثرت آن که مستلزم است کمی و زیادتی ارتفاع قمر را و تفاوت زمانهٔ غروب قمر را بعد غروب شمس. سیوم، اختلاف مغارب اجزای بروج، چه اگر تقویم قمر در جزوی باشد که زائد المغارب است. در این صورت بعد از غروب آفتاب مکث قمر فوق‌الارض زیاده باشد و رؤیت صورت بندد. و اگر در جزوی باشد، ناقص‌المغارب است؛ در این حالت مکثش فوق‌الارض قلیل باشد و رؤیت صورت نبندد. چهارم، اختلاف عروض و اطوال بلدان که مستلزم تقدیم و تأخیر غروب است. پنجم، رقّت و غلظت و صفا و کدورت هوا. ششم، حدّت و ضعف ابصار. پس در ضبط دو سبب اخیر که از امورات ارضیه‌اند هر کس معذور است، امّا اسباب چهارگانهٔ باقیه که ثابت‌اند به مراعات آن قانون رؤیت هلال مقرّر کرده‌اند. بالجمله، برای تحصیل مرام به وقت غروب روز بیست و نهم هلالی، تقویم نیّرین و عرض قمر استخراج کنیم و به ازای این جزو قمر اختلاف منظر طول و عرض از حساب برآریم. و اگر مساهلت خواسته باشیم، این دو اختلاف را از جدولی که در کسوف شمس وضع کرده‌ایم بگیریم. پس اختلاف طول را از تقویم قمر نقصان کنیم تا تقویم مرئی قمر حاصل شود و اختلاف عرض را بر عرض قمر افزاییم اگر عرض جنوبی باشد، والاّ تفاضل بگیریم تا عرض مرئی شمالی خواه جنوبی، چنانچه در مباحث کسوف گذشت، حاصل آید. بعده به تقویم مرئی و عرض مرئی قمر تعدیل‌الغروب از جدولش

برگیریم و بر تقویم مرئی قمر افزاییم، اگر عرض مرئی شمالی بود؛ والاّ از تقویم مرئی بکاهیم. آنچه حاصل شود آن را قمر مُعَدَّل خوانیم. وجه دیگر اسهل برای تحصیل قمر مُعَدَّل، عرض قمر که حین غروب حاصل کرده‌اند سه خمس آن را بگیرند، یعنی در سی و شش دقیقه ضرب کنند. آنچه به هم رسد، آن را انحراف خوانند. پس انحراف را بر تقویم قمر افزایند اگر عرض شمالی باشد، والّا از آن بکاهند تا قمر مُعَدَّل به هم رسد. بعده مطالع بلد جزو، نظیر آفتاب را، از مطالع نظیر قمر معدل بکاهیم، آنچه باقی ماند آن را بُعد مُعَدَّل خوانیم و تقویم شمس را از تقویم قمر بکاهیم و باقی را بُعد سوا خوانیم. پس، اگر هریک از بُعد مُعدّل و بُعد سواء از ده درجه زیاده نباشد، در این صورت هلال اصلاً دیده نشود و ماه موجود سی روزه باشد. و اگر بُعد معدّل میان ده درجه و دوازده درجه باشد و بُعد سواء از ده درجه بیشتر بود، در این صورت هلال باریک توان دید. و اگر بُعد معدّل میان دوازده و چهارده باشد، هلال معتدل دیده شود. و اگر از چهارده بیشتر باشد، هلال بزرگ و ظاهرتر باشد و به هر تقدیر ماه گذشته بیست و نه روزه باشد. و مؤلف، مرّات کثیره تجربه کرده است که هرگاه در عمل تعدیل‌الغروب بُعد مُعدّل کمتر از یازده درجه و در عمل انحراف کمتر از یازده درجه و نیم بوده است، در این صورت هلال گاهی دیده شده و گاهی نه. پس این حدّ ممکن الرّویه است و در این حد در دفتر تقویمی محاسب، حکم قاطع برای رؤیت نکند، بلکه نویسد که در این افق و بلاد متقاربهٔ غربیه امکان رؤیت هست، و در همهٔ اوقات که بُعد مُعَدّل از این زیاده بوده است، رؤیت حاصل شده است. فایده در تحصیل تعدیل‌الغروب و آن قوسی است از منطقه‌البروج محصور میان دایرهٔ عرضیه که به مرکز قمر گذشته باشد و میان افق غربی حینی که مرکز قمر بر افق غربی باشد و طریق تحصیل‌اش آن است که ظلّ عرض قمر را بر

ظِلّ تمام اقلیم رؤیت منحط قسمت کنند، خارج قسمت جیب تعدیل الغروب باشد...».

پیش از تفسیر مطلب، فرض می‌کنیم که در شکل ۵، دایرةالبروج برای لحظهٔ غروب ماه (بدون اِعمال تصحیحهای شکست نور، اختلاف منظر و نیم قطر) یعنی لحظه‌ای که مرکز ماه بر خط افق قرار می‌گیرد، نمایانده شده که باشد. کمان $\gamma M'$ از نقطهٔ اعتدال بهاری از مغرب به سوی مشرق (جهت حرکت ظاهری خورشید بر دایرةالبروج) بر روی دایرةالبروج مشخص شده است، تقویم قمر یا طول سماوی (دایرةالبروجی) ماه است. در این شکل،




**شکل ۵.** نمایش وضعیت ماه و خورشید نسبت به یکدیگر و دوایر عظیمهٔ سماوی به وقت قرار گرفتن مرکز ماه بر افق غربی. اندازه زمانی کمان $EE'$، برابر اختلاف اوقات غروب ماه و خورشید است.

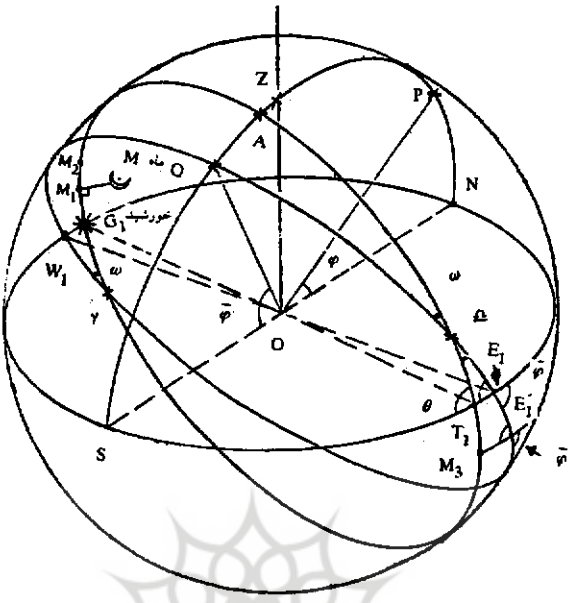
ماه شمالی است و کمان M´G الغروب است. با اضافه کردن این کمان به کمان γM´ به نقطهٔ G نقطهٔ غارب، می‌رسیم و درحقیقت نقطهٔ G محل قمر مُعدّل و کمان γG تقویم مُعدّل قمر است. و اگر این نقطه در امتداد دایرهٔ افق بر دایرهٔ استوای سماوی تصویر گردد، به نقطهٔ مغرب جغرافیایی منتهی می‌شود. حال اگر از نقطهٔ غارب، ۱۸۰ درجه از مغرب به سوی مشرق بر روی دایرةالبروج در نظر گرفته شود، به نقطهٔ T طالع برخورد می‌شود. اضافه کردن ۱۸۰ درجه به طول سماوی ماه، در اصطلاح قدما، تعیین نظیر آن است. همچنین اگر نقطهٔ T را در امتداد افق بر دایرهٔ استوای سماوی تصویر کنیم، به نقطهٔ E مشرق جغرافیایی منتهی می‌شود.

در مرحلهٔ بعد فرض می‌کنیم که محل خورشید بر دایرةالبروج به وقت غروب ماه در نقطهٔ K باشد، که در نتیجه کمان γK برابر تقویم شمس یا طول دایرةالبروجی خورشید است. اگر کمان KK´ برابر ۱۸۰ درجه گرفته شود، نقطهٔ K´ نظیر تقویم شمس است که تقریباً به موازات دایرهٔ افق بر دایرهٔ استوای سماوی در نقطهٔ E´ تصویر شده است، به صورتی که کمان عظیمهٔ K´E´ با دایرهٔ استوای سماوی زاویه‌ای برابر متمم عرض جغرافیایی بسازد. وقتی که نقطهٔ T، نظیر نقطهٔ G در امتداد دایرهٔ افق بر دایرهٔ استوای سماوی تصویر شود، در حقیقت در اصطلاح قدما، همچنان که قبلاً آمد، مطالع بلد آن گرفته شده است. یعنی نقطهٔ E، مطالع بلد نقطهٔ T است، یا به عبارت دیگر، نقطهٔ E مطالع بلد نظیر تقویم قمر مُعدّل به هنگام غروب آن است. همچنین نقطهٔ E´ مطالع بلد نقطهٔ K´ یا این نقطه مطالع بلد نظیر تقویم شمس است. در این شکل کمان E´E که تفاوت مطالع بلد نظیر تقویم قمر مُعدّل و مطالع بلد نظیر تقویم شمس بر روی دایرهٔ استوای سماوی است، تقریباً همان بُعد مُعدّل است. تقریباً از آن جهت که نظیر تقویم قمر مُعدّل به هنگام غروب آن درنظر گرفته شد و نه در وقت غروب خورشید، و لذا اندکی اختلاف وجود خواهد داشت. از طرف دیگر، کمان E´E نشانهٔ آن است که

کرهٔ سماوی برای ناظر O، حول محور سماوی از لحظهٔ غروب خورشید تا وقت غروب ماه به چه اندازه‌ای دوران کرده است و می‌دانیم که این مطلب به معنای تفاوت وقت غروب ماه و خورشید است، زیرا هر پانزده درجه طی مسیر بر دایرهٔ استوای سماوی معادل یک ساعت است، چه زمین در هر ۲۴ ساعت حول محور سماوی یک بار به دور خود، یعنی ۳۶۰ درجه، دوران می‌کند.

حال به مطلب منقول از زیج بهادرخانی برمی‌گردیم. چنانکه از متن آن برمی‌آید، طول دایرةالبروجی ماه به هنگام غروب خورشید استخراج شده و مبنای کار است، در حالی که در توضیح فوق، کمان $\gamma M'$ برابر طول دایرةالبروجی ماه به هنگام غروب درنظر گرفته شد. قبلاً اشاره شد که به سبب مشکل بودن تعیین دقیق وقت غروب ماه، منجمین مسلمان روش تقریبی را برگزیده بودند که چگونگی آن در ادامه می‌آید: در شکل ۶، محل خورشید به هنگام غروب درست در لحظه‌ای که مرکز آن واقعاً بر خط افق غربی در نقطه $G_1$ قرار می‌گیرد، نمایانده شده است، و این به معنای غروب خورشید بدون در نظر گرفتن تصحیح شکست نور و نیم قطر است. دایرةالبروج ترسیم شده در این شکل نیز مربوط به وقت غروب خورشید است و بدیهی است که با دایرةالبروج رسم شده برای وقت غروب ماه در شکل ۵، اندکی متفاوت و بر آن منطبق نیست.

کمان $\gamma G_1$ تقویم شمس و نقطهٔ $T_1$ نظیر آن است (یعنی طول سماوی خورشید به اضافهٔ ۱۸۰ درجه). همچنین کمان $\gamma M_1$ در شکل ۵ از کمان $\gamma M_1$ در شکل ۶ اندکی بزرگتر است. از طرف دیگر می‌دانیم که ماه به‌طور متوسط تقریباً در هر ۲۹/۵ روز یک بار به دور زمین می‌گردد و لذا تغییرات طول دایرةالبروجی آن در هر ۲۴ ساعت به‌طور متوسط حدود ۱۲/۲ درجه است و این بدین معنی است که تغییرات طول دایرةالبروجی آن در ساعت




**شکل ۶.** نمایش وضعیت ماه و خورشید نسبت به یکدیگر و دوایر عظیمهٔ سماوی به وقت قرارگرفتن مرکز خورشید بر افق غربی.

به‌طور متوسط حدود ۳۰ دقیقهٔ زاویه‌ای است. در نتیجه، حتی اگر اختلاف وقت غروب ماه و خورشید حدود یک ساعت هم باشد، در این مدت یک ساعت طول دایرةالبروجی ماه فقط به‌طور متوسط حدود ۳۰ دقیقهٔ زاویه‌ای افزایش می‌یابد. البته در مدت همین یک ساعت هم تغییرات طول دایرةالبروجی خورشید، که طی یک سال ظاهراً ۳۶۰ درجه بر روی دایرةالبروج می‌پیماید، به طور متوسط حدود ۲ دقیقهٔ زاویه‌ای خواهد شد. پس اگر طولهای دایرةالبروجی ماه و خورشید در لحظهٔ غروب خورشید استخراج شوند، تفاوت آنهابه‌طور متوسط در مقایسه با تفاوت طولهای دایرةالبروجی خورشید و ماه به هنگام غروب ماه، تقریباً ۲۸ دقیقهٔ زاویه‌ای اختلاف خواهد داشت که برابر حدود ۱/۹ دقیقهٔ زمانی است.

حال اگر کمان $\gamma M_1$ در شکل ۶، به اندازهٔ کمان $GM'$، یعنی تعدیل الغروب در شکل ۵ تعدیل شود، به نقطه‌ای مانند $M_2$ می‌رسد که نظیر $M_3$

بر روی دایرةالبروج است و چون در امتداد دایرهٔ افق بر استوای سماوی تصویر شود، به نقطهٔ $E'_1$ منتهی می‌شود ($M_3E'_1\ E_1=\bar{\varphi}$).

در شکل ۶، خورشید هم که در لحظهٔ غروب بر نقطهٔ غارب در $G_1$ قرار دارد، نظیر تقویم آن بر طالع در نقطهٔ $T_1$ منطبق می‌شود و چون در امتداد افق بر دایرةالبروج تصویر شود، به نقطهٔ $E_1$ می‌رسد. کمان $E_1E'_1$ در شکل ۶ نیز همانند شکل قبل برابر مدتی خواهد شد که کرهٔ آسمان باید بچرخد تا نقطهٔ $E'_1$ به نقطهٔ $E_1$ برسد. از طرف دیگر، اندازهٔ کمان $E_1E'_1$ در شکل ۶ از اندازهٔ کمان $EE'$ در شکل ۵ با توجه به توضیحات قبلی اندکی کمتر است. یا به عبارت دیگر، بُعد مُعدّل اندکی از اندازهٔ زاویه‌ای تفاوت اوقات غروب ماه و خورشید کمتر است.

اکنون با مقایسه شکلهای ۵ و ۶، برای فهم بهتر مطلب توضیح بیشتری داده می‌شود: فاصلهٔ خورشید از دایرهٔ افق بر روی دایرةالبروج در شکل ۵ به صورت زیر است:

$$KG= KM' + M'G= (\delta M' - \delta K) + M\acute{G}$$

$KG=$ (تفاوت طول دایرةالبروج ماه و خورشید در غروب ماه) + تعدیل الغروب

فاصلهٔ خورشید تا قمر مُعدّل در نقطهٔ $M_2$ بر روی دایرةالبروج در شکل ۶ نیز به صورت زیر است:

$$G_1M_2= G_1M_1 + M_1M_2= (\gamma M_1 - \gamma G_1) + \text{تعدیل الغروب}$$

$G_1M_2=$(تفاوت طول دایرةالبروجی خورشید و ماه به هنگام غروب خورشید) + تعدیل الغروب

چون کمان تعدیل‌الغروب به هنگام غروب ماه محاسبه و در هر دو شکل ۵ و ۶، مبنای کار بود و ثابت در نظر گرفته شد، بنابراین تفاوت کمان KG و کمان $G_1M_2$ اندک بوده و در حد تغییر تفاوت طول دایرةالبروجی ماه و خورشید در طول مدت تفاوت غروب ماه و خورشید است. امّا قبلاً ملاحظه شد که کمان KG برابر کمان $K'T$ در شکل ۵ و کمان $G_1M_2$ برابر کمان $T_1M_3$ در شکل ۶ است. از طرف دیگر نیز کمان $E'E$ که برابر تفاوت درجه‌ای

اوقات غروب ماه و خورشید است، در شکل ۵ از تصویر کمان $K'T$ بر دایرهٔ استوای سماوی و کمان $E_1E'_1$ در شکل ۶، از تصویر کمان $T_1M_3$ بر دایرهٔ استوای سماوی، به‌دست آمد. پس، در حقیقت تفاوت کمان $EE'$ یعنی تفاوت درجه‌ای اوقات غروب ماه و خورشید، و کمان $E_1E'_1$ یعنی بُعد مُعدّل، همچنان که قبلاً نیز گفته شد اندک بوده و ناشی از تغییر اندک طولهای دایرةالبروجی ماه و خورشید در طول مدت تفاوت اوقات غروب آنهاست.

اگر از تغییر اندک میل اوّل تقویم ماه در طول مدت تفاوت اوقات غروب ماه و خورشید صرف نظر شود، از تفاوت اوقات غروب می‌توان بُعد مُعَدّل را بر اساس رابطهٔ زیر محاسبه کرد:

ـ (تفاوت اوقات غروب ماه و خورشید) = بُعد مُعَدّل

(میزان تغییر تفاوت بُعدهای ماه و خورشید درطول مدت تفاوت غروب آنها)

اگر بُعد معدّل را با B و میزان تغییر بُعد ماه به هنگام غروب درساعت را با $\Delta l_m$ و اندازهٔ تغییر بُعد خورشید در ساعت را نیز با $\Delta l_k$ نشان دهیم، تعبیر فوق‌الذکر به صورت زیر نمایانده خواهد شد:

$$B = (T_2 - T_1) \times 15^\circ - (\Delta l_m - \Delta l_k)(T_2 - T_1)$$

$$B = (T_2 - T_1)(15^\circ - \Delta l_m + \Delta l_k) \qquad (۳$$

که در آن $T_2$ وقت غروب ماه و $T_1$ وقت غروب خورشید برحسب ساعت است. برای توضیح بیشتر مثالی آورده شده است:

**مثال:** بُعد معدّل را از روی اوقات غروب ماه و خورشید در روز جمعه چهاردهم فروردین ماه ۱۳۷۱ ش برابر ۲۹ رمضان ۱۴۱۲ ق و مصادف با سوم آوریل ۱۹۹۲ م، که پیش از این نیز در بارهٔ مسئلهٔ رؤیت آن تحقیق دیگری صورت پذیرفته[۱]، محاسبه کنید.

راه حل: در این مقاله مجال روش محاسبهٔ اوقات غروب ماه و خورشید

---

۱. ماشاءالله علی احیایی، "بررسی یکی از ضوابط رؤیت هلال پایان رمضان ۱۴۱۲ هجری قمری"، مجلهٔ *تحقیقات اسلامی*، ۱/۷،۱۳۷۱، ص ۱۲۴-۱۵۵.

در روز مذکور نیست و فقط نتایج آن بدون اِعمال تصحیحات اختلاف منظر، شکست نور و نیم‌قطر داده می‌شود.

ثانیه ۸/۰۸ دقیقه ۵۴ ساعت ۱۹ = وقت غروب ماه به وقت تابستانی ایران

ثانیه ۵۳/۴۵ دقیقه ۲۳ ساعت ۱۹ = وقت غروب خورشید به وقت تابستانی ایران

همچنین میزان متوسط تغییر بُعد ماه در ساعت، در این روز با استفاده از جداول نجومی برابر ۳۰ دقیقه و ۲۲/۳۲ ثانیهٔ زاویه‌ای و برای خورشید برابر ۹/۱۳ ثانیه است. با جایگزینی مقادیر در فرمول ۳، نتیجه می‌شود:

بُعد معدّل = B = ۷° ۱۹′ ۲۹″/۹۱

در مقایسه، بُعد معدّل در روز مذکور، در تقویم نجومی[۱]، استخراج استاد هبت‌اللّه ذوالفنون[۲]، برابر ۷ درجه و ۲۳ دقیقه داده شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱. با سپاسگزاری از انجمن فیزیک ایران که در اواخر سال ۱۳۶۸ به تشکیل کلاسی در محضر استاد هبت‌اللّه ذوالفنون مبادرت ورزید.

۲. هبت‌اللّه ذوالفنون، تقویمی نجومی، تهران ۱۳۷۱.