تاریخ و تمدّن اسلامی، سال هشتم، شماره پانزدهم، بهار و تابستان ۱۳۹۱، ص ۱۴۱-۱۷۲

محاسبه کمیت‌های کسوف حلقوی ۲۹ شوال ۶۸۱ ق./ ۳۰ ژانویه ۱۲۸۳م. در *زیج محقّق سلطانی* شمس‌الدین محمد وابکنوی[1]

سید محمد مظفری[2]
استادیار مرکز تحقیقات نجوم و اختر فیزیک مراغه، مراغه، ایران

چکیده

این مقاله به بررسی نخستین گزارش علمی از یک کسوف حلقوی توسط شمس‌الدین محمد وابکنوی، از اخترشناسان دوره دوم رصدخانه مراغه، می‌پردازد. وی گزارش کسوف حلقوی ۲۹ شوال ۶۸۱ ق./ ۳۰ ژانویه ۱۲۸۳م. را در *زیج محقّق سلطانی*، مقاله۳، باب ۱۴ آورده است. در اینجا، داده‌های اولیه و فرآیند محاسباتی وی با توجه به مقادیر جداول زیج ارایه و تحلیل می‌شود. بخش مربوط به گزارش کسوف حلقوی در *زیج محقّق سلطانی* تصحیح شده و در ضمیمه مقاله آمده است. احتمالا گزارش وابکنوی از کسوف حلقوی ۱۲۸۳م. نخستین گزارش مشروح از محاسبه کمیت‌های یک کسوف حلقوی، نخستین گزارش رصدی مکتوب برجای‌مانده از آن به دست یک منجم حرفه‌ای، و نخستین پیش‌بینی علمی این پدیده در اخترشناسی باستان و ادوار میانه است. در بعد تاریخی، امکان‌ناپذیری وجود کسوف حلقوی در بستر (context) نجومی بطلمیوسی که چارچوب اخترشناسی ادوار میانه را شکل می‌داده است، در بعد رصدی و مشاهداتی، بیان جزئیات در گزارش رصدی وابکنوی و دقت قابل توجه آنها در مقایسه با مقادیر نوین و در بعد محاسباتی ارایه مراحل محاسبه به صورت مفصل، ذکر داده‌های اولیه و داده‌های منتج در هر مرحله محاسبه که امکان یک بررسی انتقادی را امکان‌پذیر می‌سازد دلایل اصلی اهمیت پژوهش حاضر هستند.

کلیدواژه‌ها: کسوف حلقوی، قطر ظاهری زاویه‌ای، اختلاف‌منظر، سنت نجومی مراغه، شمس الدین محمد وابکنوی، *زیج محقّق سلطانی*.

---

۱. تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۳/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۵/۲۵.
۲. پست الکترونیک: mozaffari@riaam.ac.ir.

مقدمه

این مقاله به بررسی نخستین گزارش علمی نظام‌دار و مکتوب از یک کسوف حلقوی در ادوار میانه می‌پردازد. به استناد باب۱۴ از مقاله سوم *زیج محقّق سلطانی* شمس‌الدین محمد وابکنوی بخاری، وی پارامترهای کسوف ۳۰ ژانویه ۱۲۸۳م. را محاسبه و نوع کسوف (حلقوی) را تعیین کرده بوده است.

وابکنوی مهم‌ترین منجم دوره دوم رصدخانه مراغه (۱۲۸۳م.-۱۳۲۰م.) و منجم دربار غازان خان (هفتمین ایلخان مغول، حک. ۱۲۹۵-۱۳۰۴م.) بود که به دستور وی تاریخ خانی را بنیاد نهاد. وی در منابع یونانی به Σάμψ Πουχαρής (= شمس بخاری) نام برده می‌شود. تاریخ ولادت و مرگ وی در منابع فارسی داده نشده، اما در منابع یونانی ولادت وی به تاریخ ۱۱ ژوئن ۱۲۵۴م. (= ۲۲ ربیع‌الآخر ۶۵۲ق.) و زادگاه وی بخارا (وابکنا روستایی است در حوالی بخارا) آمده است.[1] وی نگارش زیج خود را به دستور غازان آغاز و سرانجام به ابوسعیدبهادر (۱۳۱۶-۱۳۳۵م.) تقدیم کرده است (وابکنوی، گ۴ر). این زیج تماما بر اساس پارامترهای سیاره‌ای جدید رصدخانه مراغه است که توسط محیی‌الدین المغربی اندازه‌گیری شده و در دو اثر نامبرده، *زیج ادوار الأنوار* و *تلخیص المجسطی*،[2] اعمال شده است.

پیش از این نگارنده، داده‌های نهایی وابکنوی برای پارامترهای کسوف حلقوی ۱۲۸۳م. را در مقاله‌ای معرفی و با داده‌های حقیقی بر اساس تئوری‌های نوین مقایسه کرده بوده است.[3] در اینجا روش وابکنوی و مراحل محاسبه داده‌های وابکنوی، گام به گام، با توجه به (۱) مختصات دایرةالبروجی ماه و خورشید مستخرج از زیج *ادوار الأنوار* محیی‌الدین المغربی، که زیج وابکنوی مبتنی بر پارامترهای بنیادین آن بوده است، و نیز (۲) بر اساس جداول کمکی زیج وابکنوی برای استخراج اختلاف‌منظر و سایر کمیت‌های مورد لزوم ارایه می‌شود و مورد بررسی انتقادی قرار می‌گیرد. روش کلی محاسبه کسوف در اخترشناسی ادوار میانه اسلامی در ذیل توضیحات

1. Pingree 1985, pp. 16–17.

۲. در *تلخیص المجسطی* (نسخه خطّی، لیدن، ش.۱۱۰)، المغربی گزارش رصدهایی را که در مراغه به انجام رسانیده بود، داده‌های مأخوذ از آنها و جزئیّات فرآیندهای محاسباتی خود برای تعیین پارامترهای بنیادین بطلمیوسی را که بر اساس همان داده‌ها صورت گرفته بود به تفصیل شرح داده است؛ برای یک مطالعه موردی از این اثر، نک.: مظفّری و رحیمی ۱۳۸۹.

۳. نک.: Mozaffari 2009؛ یک مورد خطای نگارشی در مقاله یاد شده وجود داشته است که در Mozaffari 2010 اصلاح شده است.

و محاسبات عددی گزارش کسوف حلقوی ۱۲۸۳م. خواهد آمد. این روش‌ها عمدتا از سبک واحدی پیروی می‌کرده‌اند، ولی تفاوت‌هایی نیز، به‌ویژه در نحوه وارد کردن مقادیر مربوط به اختلاف منظر و سرعت زاویه‌ای نسبی ماه و خورشید، وجود داشته است. بخش مربوط به محاسبه کسوف حلقوی ۱۲۸۳م. از زیج وابکنوی بر اساس دو نسخه موجود در ایران (علومی یزد، ش. ۵۴۶، میکروفیلم آن در دانشگاه تهران، ش. ۲۵۴۶؛ مجلس، ش. ۶۴۳۵) و ترکیه (ایاصوفیا، ش. ۲۶۹۴) تصحیح و در ضمیمه آورده شده است. از آنجا که فقط نسخه ترکیه شامل جداول زیج و کامل‌تر از دو نسخه دیگر است، در سراسر مقاله فقط به این نسخه ارجاع می‌شود.

اهمیت گزارش کسوف حلقوی ۱۲۸۳م.: در سنت نجومی بطلمیوسی از آنجا که کمینه مقدار قطر ظاهری ماه و خورشید (هنگامی که هر دو در دورترین فاصله از زمین قرار گرفته است) با هم برابر و میزان تغییرات فاصله ماه تا زمین همواره به گونه‌ای است که قطر ظاهری آن بیشتر از قطر ظاهری خورشید است، دست‌کم به لحاظ نظری امکان وقوع کسوف حلقوی وجود ندارد. پاره‌ای شواهد تجربی در ادوار میانه اسلامی (از جمله رؤیت کسوف حلقوی ۸۷۳م توسط ابوالعباس ایرانشهری و کسوف حلقوی با دوره زمانی آشکار مانند کسوف حلقوی ۸۷۶م. رویت شده توسط ابواسحاق سرخسی؛ در مورد هر دو کسوف، نک: بیرونی، ۲، ص. ۶۳۲؛ منقول در شیرازی، *تحفه*، گ ۳۶پ-۳۷ر، *اختیارات*، گ ۴۹پ) منجمان را به این نتیجه رسانید که تغییرات قطر ظاهری نیرین به گونه‌ای که قطر ظاهری ماه در پاره‌ای مواقع کمتر از قطر ظاهری خورشید گردد، کاملاً محتمل است. این امر موجب توسل منجمان اسلامی به سنن نجومی غیربطلمیوسی گردید و نمونه‌هایی از ترکیب سنن نجومی غیربطلمیوسی و بطلمیوسی را فراهم آورد. از خلال گزارش‌های رصدی پرشماری که از کسوف‌ها و خسوف‌ها در ادوار میانه اسلامی برجای مانده است[1]، این تنها مورد برجای‌مانده از گزارش یک کسوف حلقوی است.

این گزارش از دو بابت دیگر واجد اهمیت است؛ اول اینکه، این یکی از مثال‌های نادر از اخترشناسی ادوار میانه است که در آن یک منجم یک پدیده مشهود رصدی را با اتکا به تئوری‌ها و الگوهای سیاره‌ای روزگار خویش پیش‌بینی و پارامترهای آن را با اتکا به داده‌های

1. see: Stephenson 1997, Said and Stephenson 1991, 1996, 1997

خام عددی در دسترس خویش محاسبه نموده است. دوم اینکه، داده‌های نهایی آن اختلاف بسیار اندکی را با داده‌های حقیقی مبتنی بر تئوری‌های نوین نشان می‌دهد[۱]

در بررسی و تحلیل انتقادی ذیل، کل مراحل محاسبه به چند «گام» تقسیم شده است تا چشم‌اندازی بهتر از کل فرآیند محاسباتی کسوف در نجوم ادوار میانه به دست دهد و هم‌چنین تعقیب جزئیات هر مرحله از آن تسهیل گردد. در ابتدای هر «گام» نشانی بخش یا بخش‌هایی از باب چهاردهم *زیج محقّق سلطانی* که جزئیات و محاسبات ذیل آن گام بدان مربوط است ارایه گردیده تا خواننده با توجه به متن مصحح منقول در پیوست یکم مقاله حاضر بتواند به آسانی در هر گام روند محاسبات را با متن زیج مقابله نماید. بنابراین، برای مثال، خواننده در می‌یابد که مطالب گفته شده در گام ۲ به مقدمه ۳ از فصل ۱ و کل فصل ۲ از باب چهاردهم زیج مربوط است.

محاسبه کسوف ۳۰ ژانویه ۱۲۸۳م. در مغان

گام۱.

فصل۱ مقدمه۱: دو کمیت اصلی اولیه در محاسبه کسوف عبارتند از: (آ.) جزء اجتماع (λ)، یعنی نقطه‌ای از دایره بروج که خورشید و ماه در آن نقطه با یکدیگر اجتماع می‌کنند، و (ب.) زمان اجتماع (T)، یعنی زمان وقوع اجتماع نسبت به لحظه گذر نصف‌النهاری خورشید میانگین در روز اجتماع (یا یک روز پیش یا پس از آن) که بدان «ساعات بُعد اجتماع» اطلاق می‌شده است.

برای محاسبه این دو کمیت باید ابتدا طول خورشید ($\lambda_{\odot}$) و ماه ($\lambda_{☾}$) را در لحظه ظهر میانگین یک روز پیش از اجتماع و یک روز پس از آن تعیین نمود. آنگاه، با تعیین سرعت لحظه‌ای زاویه‌ای (= بهت) خورشید و ماه در این فاصله زمانی، زمان وقوع اجتماع (T) تعیین می‌گردد. سپس، بر اساس روز وقوع اجتماع (t بر حسب روز) و زمان اجتماع (T بر حسب ساعات) مقدار λ به سادگی تعیین می‌شود.

کمیت‌های فوق‌الذکر همگی بر اساس دو داده اولیه $\lambda_{\odot}$ و $\lambda_{☾}$ تعیین می‌شود که هر دو مقدار طول زمین‌مرکزی نیّرین هستند. تا جایی که فاصله یک جرم سماوی به اندازه کافی از زمین دور باشد که اختلاف منظر محسوسی از خود نشان ندهد یا دقت کمی در نتایج نهایی

---

۱. برای آنالیز آن، نک.: Mozaffari 2009 .

موردانتظار باشد، می‌توان از کمیت‌های زمین‌مرکزی برای محاسبه پدیده‌های رصدی استفاده نمود. اما فاصله ماه تا زمین در مقایسه با سایر سیارات و خورشید کمتر است، و از این رو، اختلاف منظر آن حتی با دقت رصدی مورد نیاز در ادوار میانه یا بازه قابل تشخیص با ابزارهای همان دوره ($\pm 10'$) محسوس است. گذشته از آن، کسوف پدیده‌ای رصدی است که پارامترهای آن بسته به موقعیت ناظر روی سطح زمین متغیر است. بنابراین، باید اختلاف منظر ماه و خورشید را (هرچند اختلاف منظر خورشید کمتر از ماه است) در محاسبات مربوط به کسوف مدنظر داشت.

گام۲.

فصل۱ مقدمه۳ و فصل۲- اختلاف‌منظر

اختلاف‌منظر جرم سماوی در دایره ارتفاع از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\tan\pi = \frac{\cos h}{\Delta - \sin h} \qquad (1)$$

که در آن h : ارتفاع زمین‌مرکزی در زمان T و Δ : فاصله جسم سماوی تا زمین بر حسب اینکه شعاع زمین برابر واحد درنظر گرفته شود. در مورد ماه، Δ به α: آنومالی میانگین (خاصه وسطی) ماه و $\overline{\eta}$: بعد زاویه‌ای میانگین ماه و خورشید بستگی دارد. از آنجا که (۱) اختلاف‌منظر خورشید $\pi_{\odot}$ بسیار کوچک‌تر از اختلاف منظر ماه است[1] و (۲) جهت اختلاف‌منظر ماه و خورشید یکسان است، در ادوار میانه، پیش از تنظیم جداول یا ورود به محاسبات، بیشینه مقدار اختلاف منظر خورشید ($\pi_{\odot}=0;0,3°$)[2] را از اختلاف منظر ماه $\pi_{☽}$ کم می‌کردند: $\Pi = \pi_{☽} - \pi_{\odot}$ که این «اختلاف منظر معدل (یا مصحح) قمر» نامیده می‌شود.

جداول بطلمیوس مقدار اختلاف‌منظر را از تبدیل زیر به دست می‌دهند:

---

۱. بیشینه مقدار اختلاف منظر خورشید با پارامترهای بطلمیوسی ۳ ثانیه قوسی است ($\Delta=1210$، $\tan(\pi\odot)\approx 0;0,3.\cos(h)$)؛ در حالی که بیشینه مقدار اختلاف منظر ماه $1;44°$ (= مجموع ستون‌های ۵ و ۶ در جدول اختلاف منظر ماه در *مجسطی*، V، 18 به ازای مدخل $90°$؛ Toomer 1998, p. 265) است.

۲. در سراسر مقاله حاضر اعداد به کار رفته شصت‌گانی هستند و به صورت امروزین نمایش داده می‌شود، یعنی نقطه ویرگول برای جداسازی مقادیر صحیح شصتگانی از مقادیر کسری و ویرگول برای جداسازی بخش کسری عدد شصت‌گانی استعمال می‌شود. مثلا $12;4,2° = 12\cdot600+4\cdot60^{-1}+2\cdot60^{-2}$ (۱۲ درجه و چهار دقیقه و ۲ ثانیه).

$$(h,\ \alpha\ ,2\overline{\eta}\ ) \rightarrow \pi_{☽}\ , \pi_{\odot} \rightarrow \Pi \qquad (۲)$$

برای تعیین h باید بر اساس T و λ، پارامترهای زیر را یافت: (۱) وسط السماء λ_{mid} (نقطه‌ای از دایره بروج که بر نصف‌النهار مکان رصد قرار دارد)؛ (۲) طالع λ_h یا غارب λ_s (به ترتیب، نقطه‌ای از دایره بروج که روی افق شرق و غرب قرار دارد)، بسته به اینکه اجتماع در کدام نیمه شرقی یا غربی افق نسبت به نصف‌النهار واقع شده باشد؛ (۳) زاویه Φ دایره بروج با افق («زاویه شرقی/غربی» در *مجسطی* و «تمام عرض اقلیم الرویه» در نجوم دوره اسلامی) و (۴) عرض β ماه. α و $\overline{\eta}$ از جداول حرکات میانگین به ازای زمان $t + T$ به دست می‌آید.

پس از تعیین Π کاربر باید با استفاده از h، λ و λ_h زاویه γ بین دایره ارتفاع ماه/خورشید و دایره بروج را محاسبه نماید و با استفاده از آن مؤلفه‌های Π در طول و عرض (Π_β و Π_λ) را به دست آورد. در محاسبه کسوف، کاربر گاه تا چندین بار به تکرار تمام فرایند بالا نیازمند است.

پس، Π به هفت متغیر بستگی دارد: ۱. T ؛ ۲. λ ؛ ۳. ε ؛ انحراف دایره بروج از استوای سماوی که مقدار آن در یک زیج یا در یک دوره زمانی ثابت است، اما در زیج‌ها و دوره‌های زمانی مختلف مقادیر متفاوتی داشته است. سه مقدار استاندارد در دوره اسلامی 23;35 ، 23;33 و 23;30 است که مقدار اخیر مربوط به سنت مراغه و اندازه‌گیری محیی‌الدین المغربی است؛ ۴. φ ، عرض جغرافیایی مکان که در تعیین λ_h و λ_s دخالت دارد؛ ۵. β عرض ماه که در تعیین ارتفاع h استفاده می‌شود و مقدار آن به λ و λ_c، طول نقطه جوزهر/گره مداری ماه، بستگی دارد؛ ۶. α و ۷. $\overline{\eta}$.

اما در جداول تئون اسکندرانی (برای هفت اقلیم) اختلاف منظر از تبدیل زیر به دست می‌آید:[۱]

$$(\varphi, \lambda, \mathrm{T}) \rightarrow \Pi_\beta, \Pi_\lambda \qquad (۳)$$

که در آن $\alpha = \overline{\eta} = 0$. در حقیقت مزیت جداول تئون این است که در تنظیم آن تمام فرآیند بالا صورت گرفته است و در نتیجه، از ترکیب λ و T به جای h مستقیما نتیجه نهایی به دست می‌آید.[۲] در نمونه‌های مختلف از جداول تئونی در ادوار میانه بازه تعریف شده برای φ ، λ و T

---

۱. برای بحث درباره جداول اختلاف‌منظر تئون، نک. Neugebauer 1975, pp. 990 f و درباره روش‌های محاسبه اختلاف‌منظر در اخترشناسی دوره اسلامی، نک.: Kennedy 1956.

۲. برای مثال، در جداول زیج اشرفی ۱۵۹ر-۱۶۴پ، T برای هر 10 دقیقه و λ=3n (n=1,2,…,120) داده شده است. این جداول برای عرض اقلیم سوم (φ=36) تنظیم شده است. در جداول ۱۶۵ر-۱۶۸پ، T برای هر نیم

متفاوت است. این جداول با این فرض تنظیم شده است که آنومالی حقیقی α و بعد زاویه‌ای میانگین ماه از خورشید $\overline{\eta}$ صفر است؛ یعنی، ماه در دورترین فاصله نسبت به زمین قرار گرفته است. بنابراین، برای یک مکان خاص φ و زمان خاص T که در آن مقادیر λ متفاوت از مقادیر جدول (که عمدتا برای $\lambda=30n$ ، $n=1,\ldots 12$ تنظیم می‌شدند) و نیز $\alpha \neq 0$ و $\overline{\eta} \neq 0$ است، باید مقدار Π را با تعدیل خطی (Linear interpolation) در جداول به دست آورد. وابکنوی در مقدمه ۳ از فصل ۱ این تعدیلات را معرفی می‌کند:[1]

۱) تعدیل Π بر حسب مقدار φ بین دو جدول Π که برای $\varphi_1>\varphi$ و $\varphi_2<\varphi$ تنظیم شده است؛

۲) تعدیل Π بر حسب مقدار λ بین دو جدول Π که برای $\lambda_1>\lambda$ و $\lambda_2<\lambda$ تنظیم شده است؛

۳) تعدیل Π بر حسب مقدار α؛

۴) تعدیل Π بر حسب مقدار $\overline{\eta}$؛

۵) تعدیل Π بر حسب T بین دو زمان مجاور $T_1>T$ و $T_2<T$.

ترتیب این تعدیلات از اهمیت قابل توجهی برخوردار است؛ زیرا، میزان تأثیر هر متغیر را در تعیین مقدار Π نشان می‌دهد. یک نکته دیگر این است که مقدار Π به صورت خطی بر اساس متغیرهای فوق‌الذکر تغییر نمی‌کند، هرچند در ادوار میانه به جز تعدیل خطی راه دیگری برای به دست آوردن مقدار حقیقی Π از جداول تئونی وجود نداشته است.

وابکنوی در فصل ۲ محاسبات خود برای کسوف حلقوی ۳۰ ژانویه ۱۲۸۳م. را آغاز می‌کند و در ابتدا چگونگی اعمال تعدیلات بالا را نشان می‌دهد. برای این منظور وی جدولی (به نام «جدول لطیف») ترتیب می‌دهد تا گام به گام مقادیر اولیه، نحوه اعمال تعدیلات و مقادیر حاصل را در آن درج نماید.[2]

ساعت و $\lambda=30n$ برای هفت اقلیم تنظیم شده است. در جداول زیج وابکنوی ۱۶۷پ-۱۶۹پ، T برای هر یک ساعت $\lambda=30n$ ($n=1,2,\ldots,12$) برای عرض هفت اقلیم + عرض مراغه و عرض تبریز داده شده است. منجمان در زیجها گاه جداول اختلاف‌منظر به سبک تئونی برای عرض جغرافیایی محل رصد خود ترتیب می‌داده‌اند. در زیج محقّق جدول اختلاف منظر برای عرض تبریز ($\varphi=38$) متعلق به وابکنوی است (گ ۱۶۹ر). جدول با به کمک مقادیر جداول اقلیم چهارم ($\varphi=36$) و پنجم ($\varphi=41$) با تعدیل خطی محاسبه شده است.

۱. برای مثالی از زیج دیگر، نک.: خازنی، وجیز، مقاله ۹، باب۲ (۲۱ر-۲۲ر).

۲. این روش و نام «جدول لطیف» در سایر زیج‌ها نیز به چشم می‌خورد؛ برای نمونه، خازنی، وجیز، مقاله ۱۰، قسم۳، باب۱ (۲۵ر به بعد).

پارامترهای ورودی وابکنوی به صورت زیر است:

۱- زمان و مکان رصد:

شنبه، ۲۹ شوال ۶۸۱ق = t

۲۶ فروردین ۶۵۲ یزدگردی= 30 Jan 1283

(از جزایر خالدات) $\varphi = 39° \; L = 83°$: مغان

۲- جزء حقیقی و زمان اجتماع:

$$\lambda = 317;59,38°$$

(پس از ظهر میانگین در مغان) $T = 0;4^h$ (۴)

۳- سرعت زاویه‌ای لحظه‌ای حقیقی خورشید و ماه در آن روز عبارتند از:

$$v_{\odot} = 0;\,2;31\ °/h$$

$$v_{☽} = 0;31;23$$ (۵)

سرعت نسبی یا *سَبَق* : $v = 0;28,52$

مقادیر سرعت روزانه از تفاضل طول خورشید و ماه در زمان ظهر میانگین دو روز متوالی (روز رصد و روز پیش از آن یا روز رصد و روز پس از آن) به دست آمده است.

از آنجا که اعتماد وابکنوی بر زیج *ادوار الأنوار* محیی‌الدین بوده، وی کمیت‌های ورودی را مستقیما از زیج وی استخراج کرده است. جداول حرکات میانگین و پارامترهای زیج محیی‌الدین (نسخه مشهد، ش. ۳۳۲) و نیز *تلخیص المجسطی* وی (نسخه لیدن، ش. Or. 110) مقادیر

$$\lambda = 318;0,44°$$

(پس از ظهر میانگین در مغان) $T = 0;31^h$ (۶)

را به دست می‌دهد.[۱] در جداول طول و عرض جغرافیایی شهرها در زیج وابکنوی (گ ۱۴۹ر) طول جغرافیایی مراغه و مغان L=83° داده شده است، یعنی هر دو شهر بر یک نصف‌النهار قرار دارند. در *زیج ایلخانی* طول جغرافیایی مراغه L=82° است. جالب اینجاست که وابکنوی در مقدمه زیج نیز طول مراغه را L=82° ذکر کرده است (گ ۲ر). مقادیر مندرج در (۶) بر

۱. این مقادیر با کمک نرم افزار MHE (Ephemeris Maragha Historical) که توسط نگارنده برای آنـالیز زیج‌های نجومی نوشته شده محاسبه گردیده‌اند. برای این کار جداول حرکات میانگین و تعدیلات سیاره‌ای زیج‌های محیی‌الدین به عنوان ورودی نرم‌افزار قرار گرفته‌اند که بر اساس آنها نرم افزار قادر است وضـعیت دایـرةالبروجـی و سایر کمیت‌های بطلمیوسی (مانند آنومالی، تعدیل زمان و ...) را بر اساس داده‌های ورودی به دست دهد.

اساس فرض دوم که صائب‌تر به نظر می‌رسد محاسبه شده است. مقایسه بین مقادیر (۴) و (۶) تفاوت آنها را نشان می‌دهد. دلیل این تفاوت تصحیحی است که وابکنوی بر مقادیر طول دایرةالبروجی میانگین ماه در زیج محیی‌الدّین صورت داده و مقدار $0;13,11°$ بر آنها افزوده است.

مقادیر حقیقی مدرن به صورت زیر است:

$$\lambda = 317;54,52°$$
$$T = 0;14^h \text{ (پس از ظهر میانگین در مغان)} \qquad (۷)$$

(قس. (۴) و (۶))

مقدار $\lambda_{☉}$ و $\lambda_{☽}$ در لحظه ظهر میانگین روزهای ۲۶ و ۲۷ فروردین ۶۵۲ یزدگردی بر اساس زیج وابکنوی به صورت زیر است:

	26	27		v (°/h)
$\lambda_{☉}$	317;59,27°	318;59,58°	→	≈ 0; 2,31
$\lambda_{☽}$	317;56,51	330;37,18	→	≈ 0;31,41

که با مقادیر وابکنوی (۵) مطابقت می‌کند. (خطای جزئی $-0;0,18$ در $v_{☽}$ بین (۸) و (۵) ناشی از گرد کردن مقادیر تعدیلات و در مطالعه حاضر فاقد تأثیر است.)

حال می‌خواهیم اختلاف‌منظر ماه را در زمان اجتماع حقیقی از جداول تئونی به دست آوریم. به ازای عرض محل رصد $\varphi=39°$ جدولی وجود ندارد و بنابراین، باید در نخستین مرحله محاسبه اختلاف‌منظر مقدار تعدیل را بر اساس جدول اقلیم چهارم ($\varphi_1= 36°$) و اقلیم پنجم ($\varphi_2= 41°$) به دست آوریم. مقادیر اختلاف‌منظر در طول و عرض را برای $\lambda=300$ (اول دلو ♒) و $\lambda=330$ (اول حوت ♓) برای دو عرض جغرافیایی پیش‌گفته برای ساعات بعد از نصف‌النهار از جداول اختلاف‌منظر استخراج (گ ۱۶۸پ-۱۶۹ر) و در جدول به صورت زیر وارد می‌کنیم (گ ۷۳ر). از آنجا که بروز خطاهای نگارشی در جداول اختلاف‌منظر (گ ۱۶۸پ-۱۶۹ر) کاملاً محتمل است، این جداول با جداول *زیج اشرفی* (گ ۱۶۶پ-۱۶۷ر) و *زیج ایلخانی* (آ: صص. ۹۱-۹۲) مقابله شده است. سه مورد تفاوت بین جداول اصل و جدول گ۷۳ر وجود دارد. مقادیر

جداول اصل درون [] داده شده است. خطاهای نگارشی به صورت *کج* مشخص شده است. با مقابله جداول اصلی اختلاف‌منظر در زیج وابکنوی با *زیج اشرفی* و نیز *زیج ایلخانی* مشخص شد

که دو مورد خطای نگارشی در مقدار جداول اصل زیج وابکنوی بوده است (تبدیل «ی» به «یج» و «مز» به «مو»). سپس، با استفاده از تعدیل خطی

$$\Pi = \Pi_1 + \frac{\varphi - \varphi_1}{\varphi_2 - \varphi_1}(\Pi_2 - \Pi_1) \quad (۹)$$

مقادیر نظیر برای اختلاف‌منظر را برای عرض $\varphi = 39°$ به دست آوریم (همه مقادیر بر حسب دقیقه قوسی است):

	$\varphi_1 = 36°$				$\varphi_2 = 41°$				$\varphi = 39°$			
	♒		♓		♒		♓		♒		♓	
	Π_λ	Π_β	Π_λ	Π_β	Π_λ	Π_β	Π_λ	Π_β	Π_λ	Π_β	Π_λ	Π_β
0	9	42	14	*34*[25]	10[*13*]	43	15	38	10	43	15	*37*[33]
1	19	38	23	31	19	41	24	34	19	40	24	33
2	29	35	32	27	28	38	32	30	28	37	32	29
3	37	31	40	22	36	34	39	27	36	33	39	25
4	42	27	45	18	40	30	44	23	41	29	44	21
5	45	23	48	16	43	27	47[*46*]	19	44	26	*45*[47]	18

تا اینجا مؤلفه‌های اختلاف منظر برای $\lambda_1 = 300°$ و $\lambda_2 = 330°$ تعیین شد. در مرحله دوم با استفاده از تعدیل خطی

$$\Pi = \Pi_1 + \frac{\lambda - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}(\Pi_2 - \Pi_1) \quad (۱۰)$$

مقادیر اختلاف‌منظر برای $\lambda = 318°$ را به دست می‌آوریم:

	$\varphi_1 = 36°$				$\varphi_2 = 41°$				$\varphi = 39°$				$\varphi = 39°$	
	0♒		0♓		0♒		0♓		0♒		0♓		18♒	
	Π_λ	Π_β	Π_λ	Π_β	Π_λ	Π_β	Π_λ	Π_β	Π_λ	Π_β	Π_λ	Π_β	Π_λ	Π_β
0	9	42	14	*34*[25]	10[*13*]	43	15	38	10	43	15	*37*[33]	13	40[37]
1	19	38	23	31	19	41	24	34	19	40	24	33	22	36
2	29	35	32	27	28	38	32	30	28	37	32	29	29[30]	33[32]
3	37	31	40	22	36	34	39	27	36	33	39	25	37[38]	34[28]
4	42	27	45	18	40	30	44	23	41	29	44	21	42[43]	37[24]
5	45	23	48	16	43	27	47[*46*]	19	44	26	*45*[47]	18	44[46]	37[21]

در اینجا خطای نگارشی وجود ندارد (نک. ادامه)، اما خطاهای محاسباتی فاحش (به‌ویژه در دو مقدار آخر Π_β) و انداختن مقادیر کسری به جای گرد کردن آن به کرات به چشم می‌خورد که توجیهی برای آن وجود ندارد. البته باید توجه داشت که چون $T = 0;4^h$، برای تعیین اختلاف‌منظر در این زمان فقط به مقادیر اختلاف‌منظر در زمان زوال (ساعت صفر) و یک ساعت پس از آن نیاز داریم. بنابراین، این اشتباهات هیچ تأثیری در مقادیر بعدی نخواهد داشت.

در دو مرحله زیرین به تعدیل مربوط به فاصله ماه تا زمین می‌رسیم. در جداول تئونی $\alpha = 0$ و $\overline{\eta} = 0$ در نظر گرفته شده است، یعنی همواره ماه در بیشینه فاصله از زمین قرار دارد. با افزایش مقدار این دو پارامتر، فاصله ماه تا زمین کاهش و در نتیجه مقدار اختلاف‌منظر افزایش می‌یابد.

در مرحله سوم تعدیل مربوط به آنومالی حقیقی (خاصه معدله) α ماه اعمال می‌شود. در زمان رصد به گزارش وابکنوی $\alpha \approx 74°$ (مقدار دقیق: $73;57,42°$) بوده است. از جدول کسوف وابکنوی داریم:

$$c_1(74) = 64/60 = 0;64 \quad (۱۱)$$

که آن را در همه مقادیر اختلاف‌منظر حاصل در مرحله دوم (دو ستون اخر جدول I) ضرب می‌کنیم:

	II	
	$\varphi = 39°$	
	18♒	
	Π_λ	Π_β
0	14	43[39]
1	23	39
2	31[32]	35[34]
3	39[41]	34[30]
4	45[46]	39[26]
5	47[49]	39[22]

جدول بالا (II) «جدول لطیف» خوانده شده است. با ضرب مقدار (۱۲) در مقادیر غلط مرحله دوم (جدول I) همان مقادیر موجود در جدول بالا تولید می‌شود. این امر نشان می‌دهد که محاسبات مرحله پیشین با مسامحات بسیاری صورت گرفته و اینکه هیچ‌کدام از آنها ناشی از خطای نگارشی نیست.

در مرحله چهارم تعدیل مربوط به بعد میانگین ماه از خورشید $\overline{\eta}$ ماه اعمال می‌شود. وابکنوی مقدار $\overline{\eta}$ را ذکر نکرده است: $2\overline{\eta} \approx 2.5;59,02° \approx 12°$. از جدول اختلاف‌منظر، تعدیل مرکز ماه برابر است با:

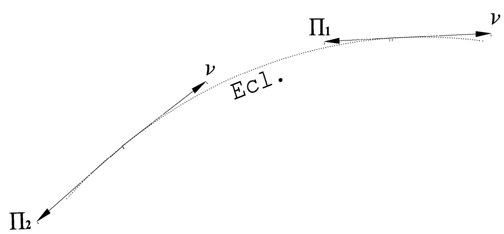
$$c_2(12) = 60/60 = 1 \qquad (۱۲)$$

یعنی، در اینجا تأثیر کمی بعد میانگین ماه از خورشید بر مقدار فاصله ماه از زمین به گونه‌ای است که تغییر چندانی را در اختلاف‌منظر به وجود نمی‌آورد. از آنجا که در هنگام کسوف یا خسوف، مرکز دایره تدویر ماه در نزدیکی نقطه اوج دایره مایل خارج مرکز آن قرار دارد، در بیشترینه موارد به این تعدیل نیازی نخواهد بود.

گام۳.

فصل۳: سرعت زاویه‌ای نسبی ظاهری ماه و خورشید

سرعت زاویه‌ای نسبی حقیقی ماه و خورشید در رابطه (۵) از گام۲ (نک. بالا) تعیین شد. برای به دست آوردن سرعت ظاهری ماه و خورشید نسبت به یکدیگر، باید مقدار اختلاف‌منظر را که باعث تغییر ظاهری مکان ماه می‌گردد لحاظ نمود. شکل زیر موقعیت ماه را در دو ساعت متوالی پس از ظهر نشان می‌دهد.



بردار اختلاف منظر در طول در هر یک از این دو زمان (Π_1 و Π_2، $\Pi_2 > \Pi_1$) در خلاف جهت برآیند بردار سرعت نسبی حقیقی ماه و خورشید است. بنابراین سرعت ظاهری ماه برابر است با:

$$v'^{\,(°/h)} = v^{\,(°/h)} - (\Pi_2 - \Pi_1) \qquad (۱)$$

پس، از $v \approx 29^{\,°/h}$ و مقادیر Π_λ جدول لطیف (جدول II بالا) داریم:

III

		$v'^{\,(°/h)} =$
1		29–(23–14) = 20
2	29–(31–23) = 21	[29–(32–23)=20]
3	29–(39–31) = 21	[29–(41–32)=20]
4	29–(45–39) = 23	[29–(46–41)=24]
5	29–(47–45) = 27	[29–(49–46)=26]

گام۴.

فصل۴: به دست آوردن زمان ظاهری اجتماع (زمان حقیقی وقوع کسوف)

جدول‌های I ، II و III که به ترتیب فوق در گام‌های ۲ و ۳ به دست آمده‌اند، در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. حال می‌خواهیم زمان ظاهری اجتماع T' را به دست آوریم؛ T' زمانی را نشان می‌دهد که در آن طول ظاهری ماه ($\lambda'_{\leftmoon}$) برابر طول ظاهری خورشید ($\lambda'_{\odot}$) است؛ یعنی، لحظه حقیقی وقوع کسوف بسته به زمان افق محلی ناظر. منظور از طول ظاهری (apparent یا به تعبیر نجومی امروز topocentric) طول حقیقی ماه و خورشید است که با مقادیر اختلاف منظر تصحیح شده است. چنانکه پیشتر آمد (گام۱)، جداول تئونی برآیند اختلاف‌منظر ماه و خورشید را به صورت مقدار واحد (به نام «اختلاف‌منظر مصحح») به دست می‌دهد، یعنی مقدار اختلاف‌منظر خورشید پیشتر لحاظ شده است. بنابراین، در اینجا T' زمانی است که در آن طول ظاهری ماه ($\lambda'_{\leftmoon}$) برابر طول حقیقی خورشید ($\lambda_{\odot}$) است. برای تعیین T' می‌توان از الگوریتم ساده زیر استفاده کرد. زمان T بین دو زمان t_1 و t_2 قرار دارد که هر دو عدد صحیح هستند؛ در مثال ما: $T=0;4$، $t_1=0$ و $t_2=1$. ابتدا مقدار Π_λ برای زمان T تعیین می‌شود که فاصله زاویه‌ای بین اجتماع حقیقی و اجتماع مرئی مفروض را نشان می‌دهد. اختلاف زمانی («ساعات اختلاف») بین اجتماع حقیقی و اجتماع مفروض از

$$\Delta t = \Pi_\lambda / v' \qquad (1)$$

به دست می‌آید. اگر در زمان T اختلاف زاویه‌ای بین خورشید حقیقی ($\lambda_{\odot}$) و ماه حقیقی ($\lambda_{\leftmoon}$) برابر با Π_λ باشد، پس نتیجه می‌شود که $T'=T+\Delta t$. اگر این حالت برقرار نشد، اختلاف منظر $\Pi_{\lambda 1}$، اختلاف زمانی Δt_2، و طول خورشید $\lambda_{\odot}1$ و طول ماه $\lambda_{\leftmoon}1$ را برای زمان $T_1=T+\Delta t_1$ به دست می‌آوریم؛ اگر $|\eta|=|\lambda_{\odot}1-\lambda_{\leftmoon}1|=\Pi_{\lambda 1}$، آنگاه $T'=T+\Delta t_2$. در صورت برآورده نشدن این شرط، محاسبه را تا زمان $t_1 < T_n=T+\Delta t_n < t_2$ تکرار می‌کنیم:

t_1	Π_λ/v یا Π_λ/v'						T'
T	Π_λ	$\rightarrow$	Δt_1	$\rightarrow$	$\lvert\lambda_{\odot}-\lambda_{\leftmoon}\rvert=\Pi_\lambda$ $\lvert\lambda_{\odot}-\lambda_{\leftmoon}\rvert\neq\Pi_\lambda$	$\rightarrow$ $\rightarrow$	$T+\Delta t_1$ ادامه محاسبه
$T_1=T+\Delta t_1$	$\Pi_{\lambda 1}$	$\rightarrow$	Δt_2	$\rightarrow$	$\lvert\lambda_{\odot}1-\lambda_{\leftmoon}1\rvert=\Pi_{\lambda 1}$ $\lvert\lambda_{\odot}1-\lambda_{\leftmoon}1\rvert\neq\Pi_{\lambda 1}$	$\rightarrow$ $\rightarrow$	$T+\Delta t_2$ ادامه محاسبه
$T_2=T+\Delta t_2$	$\Pi_{\lambda 2}$	$\rightarrow$	Δt_3	$\rightarrow$	$\lvert\lambda_{\odot}2-\lambda_{\leftmoon}2\rvert=\Pi_{\lambda 2}$ $\lvert\lambda_{\odot}2-\lambda_{\leftmoon}2\rvert\neq\Pi_{\lambda 2}$	$\rightarrow$ $\rightarrow$	$T+\Delta t_2$ محاسبه ادامه

…	…	…	…	…	…	…	…
$T_n=T+\Delta t_n$	$\Pi_{\lambda n}$	$\rightarrow$	Δt_{n+1}	$\rightarrow$	$\lvert\lambda_{\odot n}-\lambda_{☽n}\rvert=\Pi_{\lambda n}$	$\rightarrow$	$T+\Delta t_{n+1}$
					$\lvert\lambda_{\odot n}-\lambda_{☽n}\rvert\neq\Pi_{\lambda n}$	$\rightarrow$	ادامه محاسبه
t_2							

به گفته وابکنوی، اکثر منجمان ادوار میانه، به جز عبدالرحمن خازنی، سرعت نسبی حقیقی v را به جای سرعت نسبی ظاهری v' در رابطه (۱) به کار می‌برده‌اند. وابکنوی نتایج الگوریتم بالا را در دو حالت فوق‌الذکر در دو جدول به نام «دستور» جمع‌بندی کرده است (گ ۷۳پ). هر یک از ردیف‌های این جداول، «مقدمه» خوانده شده است. دستور اول بر اساس $v=29^{\circ/h}$ و دستور دوم بر اساس $v'=20^{\circ/h}$ (سرعت زاویه‌ای نسبی در ۱ ساعت پس از ظهر؛ نک. بالا، جدول III) محاسبه شده است.

دستور ثانی

	Π_λ	$\Delta t=\Pi_\lambda/29$
$t_1=0$	14′	
T = 0; 4	14 [15]	0;29 [0;31]
T_1=0;33[0;35]	19	0;39
T_2=0;43	20	0;42 [0;41]
T_3=0;46[0;45]	21	0;44 [0;43]
T_4=0;48[0;47]	21	0;44(1)
$t_2=1$	23	

دستور اول

	Π_λ	$\Delta t=\Pi_\lambda/20$
$t_1=0$	14′	
T = 0; 4	14 [15]	0;42[0;45]
T_1=0;46 [0;49]	21	$\boxed{T' = 0;48}$
$t_2=1$	23	

(۱) خطای نگارشی: مد ← مو

بر اساس دستور دوم، در ساعت T_1=0;46:

$$\lambda_\odot = 318;\ 1,23^\circ \qquad (۱)$$
$$\lambda_☽ = 318;21,29^\circ$$

پس، $\eta=20'6''$. از دستور دوم برای زمان $T_1=0;46^h$ داریم: $\Pi_\lambda=21'$. پس، $\eta \neq \Pi_\lambda$. اما اختلاف $\eta-\Pi_\lambda=54''$ ناچیز است. هم‌چنین می‌دانیم که مقدار Π_λ با دقت دقیقه قوسی (که در اینجا موردنظر است) در بازه‌های زمانی کوچک ثابت می‌ماند. دستور اول نشان می‌دهد که در بازه زمانی $0;46^h–0;50^h$ داریم: $\Pi_\lambda=21'$. پس، اجتماع ظاهری باید «اندک زمانی» معادل

$$(\eta-\Pi_\lambda)/v = 0;0,54^\circ/29^{\circ/h} = 0;1,52 \approx 2 \text{ دقیقه} \qquad (۲)$$

پس از $T_1=0;46^h$ روی دهد. بنابراین، $T'=0;48^h$. وابکنوی این مقدار اخیر را در آخرین خانه دستور ثانی در ذیل ستون ساعات اختلاف Δt درج می‌کند.

بر اساس دستور اول، در ساعت $T_1=0;33$ [0;35]، $\lambda_{\odot}$ و $\lambda_{☽}$ را به دست می‌آوریم. وابکنوی فقط به ذکر فاصله زاویه‌ای $\eta=13'40''$ بین ماه و خورشید در این زمان اکتفا می‌کند. در همین زمان از دستور اول داریم: $\Pi_\lambda=19'$؛ پس، $\eta-\Pi_\lambda=5'20''$. میزان اختلاف زیاد است؛ بنابراین، این فرآیند را برای زمان‌های T_2، T_3، T_4 نیز تکرار می‌کنیم. در زمان $T_4=0;48$، وابکنوی مقادیر زیر را محاسبه می‌کند:

$$\begin{aligned} \lambda_{\odot} &= 318;\ 1,28^\circ \\ \lambda_{☽} &= 318;22,31^\circ \end{aligned} \qquad (۳)$$

پس، $\eta=21'3''$ که تقریبا مساوی با مقدار $\Pi_\lambda=21'$ در همان زمان T_4 است. پس، $T'=T_4=0;48^h$. پیش از این، بر اساس دستور دوم همین مقدار حاصل شده بود.

چنانکه پیشتر اشاره شد، به گفته وابکنوی عمده منجمان از سرعت زاویه‌ای نسبی حقیقی v در محاسبات کسوف استفاده می‌کردند (یعنی، مطابق الگوریتم موجود در دستور اول)، در حالی که خازنی سرعت زاویه‌ای نسبی ظاهری v' را به کار می‌برده است. وابکنوی در پایان فصل ۴ به این نکته توجه می‌دهد که کاربرد v' مراحل محاسبه را کاهش می‌دهد.

در پایان، وابکنوی زمان بیشینه مرحله گرفت (وسط کسوف) را از لحظه طلوع آفتاب به دست می‌دهد:

$$T' + \text{نصف ساعات روز} = 0;48 + 5;6,48 \approx 5;55^h \qquad (۴)$$

گام۵.

فصل۵: استخراج عرض مرئی قمر

داریم:

$$\begin{array}{c} \lambda_{\Omega} = -49;19,30^\circ = 310;40,30^\circ \\ \lambda = 318;22,31^\circ \\ \hline \lambda_{\beta} = 7;42,1^\circ \end{array} \qquad (۱)$$

و:

$$\beta = \beta_{\max} \sin \lambda_{\beta} = 5° \sin(7;42,1°) = 0;40,11.84 \approx +0;40,12° \qquad (۲)$$

(در متن: $+0;40,11°$)

بر اساس جدول اختلاف‌منظر داریم:

$$\Pi_{\beta} = -0;40,0° \qquad (۳)$$

و عرض ظاهری ماه به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\beta_{\text{app.}} = \beta_{\text{true}} + \Pi_{\beta} = +0;40,12° + (-0;40,0°) = +0;0,12° \qquad (۴)$$

(در متن: $+0;0,11°$)

گام۶.

فصل۶: دوره زمانی، زمان‌های تماس، مقدار و وضعیت کسوف

زمان کسوف (T) را در ابتدا بر اساس طول زمین‌مرکزی حقیقی تعیین کردیم (پیشتر این پارامتر «ساعات بعد اجتماع» خوانده شده است). حال، پس از تعدیلات مربوط به اختلاف منظر طی مراحل فوق‌الذکر، مقدار T دوباره تعیین گردیده و اکنون «ساعات وسط کسوف» (زمانِ بیشینه مرحله کسوف) خوانده می‌شود. با تعیین دوره زمانی $\Delta\tau$ کسوف می‌توان زمان تماس اول/آغاز مرحله گرفت جزئی یا «ساعات بدو کسوف» ($T-½\Delta\tau$) و زمان تماس آخر/پایان گرفت یا «ساعات بدو انجلاء» ($T+½\Delta\tau$) را به سادگی تعیین نمود.

فاصله $\Delta\lambda$ که ماه در امتداد موازی با دایره بروج در طی زمان $½\Delta\tau$ می‌پیماید، «دقایق سقوط» نامیده می‌شود.

مقدار گرفت قطر خورشید m (هنگامی که بر حسب درجه بیان می‌شود «دقایق کسوف» و هنگامی که بر حسب واحدهای ۱۲گانی قطر خورشید بیان می‌شود «اصابع قطر» نام دارد) و مقدار گرفت سطح خورشید M تابعی از $\beta_{\text{app.}}$ و قطر زاویه‌ای ظاهری ϑ ماه و خورشید است. در بستر اخترشناسی ادوار میانه، ϑ به صورت تابعی از ω تعریف می‌شده است.

در بخش دوم جدول وابکنوی برای کسوف (گ ۱۷۰ر.)،[۱] مقادیر m ، M و $\frac{1}{2}\Delta\lambda$ بر حسب $\beta_{\text{app.}} = 1,2,...,34'$ و در سه حالت $\omega = 29,33,36°/h$ داده شده است.

با استفاده از رابطه (۴) گام۵ و تعدیل خطی در جدول کسوف داریم:

	$v_{☽} = 0;29^{°/h}$	$\frac{1}{2}\Delta\lambda$	m
	0	0;31, 8	12; 0
$\beta'_{☽}$	0;0,11	0;31, 7,38	11;55,47
	0;2	0;31, 4	11;14

	$v_{☽} = 0;33^{°/h}$	$\frac{1}{2}\Delta\lambda$	m
	0	0;32;47	12; 0
$\beta'_{☽}$	0;0,11	0;32,46,44	11;57, 4
	0;2	0;32,44	11;28

بنابراین، به ازای $v_{☽} = 0;31,23^{°/h}$ خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \tfrac{1}{2}\Delta\lambda &= 0;32,\ 6,40,50 \\ m &= 11;56,32,53 \end{aligned} \qquad (۲)$$

در دو نسخه، مقدار $\frac{1}{2}\Delta\lambda$ به دو صورت 0;31,17,30,35 (نسخه ی: گ ۱۳۲پ) و 0;31,57,32,30 (نسخه ت: گ ۷۴ر) و m=12 آمده است. برای تعیین ساعات وسط کسوف داریم:

۱. این جدول از نوع جداول بطلمیوسی در *جداول دستی/ زیج* (*Handy Tables*) وی است (نک. Neugebauer 1975, vol. 2, pp. 990–1001) که در زیج‌های دوره اسلامی به عنوان پیش‌الگو استفاده می‌شده است (برای نمونه در *زیج الصابئ* بتّانی؛ نک: Nallino 1899, vol. 2, p. 89). وابکنوی جدول کسوف زیج محیی‌الدّین المغربی (نسخه مشهد، گ. ۹۶ر؛ نسخه ایرلند، گ. ۹۴پ) را که مبتنی بر پارامترهای غیربطلمیوسی است در آن وارد کرده است.

$$\begin{aligned} \tfrac{1}{2}\Delta\tau &= \tfrac{1}{2}\Delta\lambda/v' \\ &= 0;32,13/0;21 \\ &= 1;32,3 \approx 1;32^{h} \end{aligned} \qquad (۳)$$

(در متن: 1;31)

پس، مدت زمان کسوف و زمان‌های آغاز و پایان کسوف از طلوع آفتاب در روز یاد شده به ترتیب برابر است با:

$$\begin{aligned} \Delta\tau &= 3;4^{h} && \text{در متن: } 3;2^{h} \\ T - \tfrac{1}{2}\Delta\tau &= 5;55-1;32 = 4;23^{h} && 5;49-1;31 = 4;18 \\ T + \tfrac{1}{2}\Delta\tau &= 5;55+1;32 = 7;27^{h} && 5;49+1;31 = 7;20 \end{aligned} \qquad (۴)$$

مشخص نیست که چرا مؤلف زمان بیشینه کسوف را 5;49 در نظر گرفته است؛ در حالی که خود وی پیشتر، رابطه (۴) گام۴، مقدار 5;55 را به دست داده بوده است.

در جدول کسوف، مقادیر ϑ وجود ندارد. این مقادیر تابعی از سرعت زاویه‌ای است. آن را می‌توان بر اساس روابطی که وابکنوی درمقاله سوم، باب ۱۱، فصل دوم زیج خود آورده است به سادگی محاسبه نمود. بر اساس مقادیر (۵) گام۲ داریم:

$$\begin{aligned} \theta_{\odot} &= 32' \, 59'' \; (33' \, 7'') \\ \theta_{☽} &= 32' \, 11'' \end{aligned} \qquad (۵)$$

بنابراین، مشخص می‌شود که کسوف از نوع حلقوی است.

گزارش بالا نخستین مدرک مستند از پیش‌بینی یک کسوف حلقوی توسط یک اخترشناس حرفه‌ای در ادوار میانه است.

ضمیمه:

زیج المحقّق السّلطانی

مقاله سوم، باب چهاردهم

ی: نسخه کتابخانه علومی یزد، ش. ۵۴۶؛ میکروفیلم در دانشگاه تهران، ش. ۲۵۴۶.
ت: نسخه ترکیه، کتابخانه ایاصوفیا، ش. ۲۶۹۴
م: نسخهٔ کتابخانه مجلس، ش. ۶۴۳۵.

{ت:۷۱ر} {ی:۱۲۸ر} {م: ۱۰۸ر}
[III,14] **باب چهاردهم. در معرفت کسوف آفتاب به جدول**
و آن شش فصل است:

[III,14,1] **فصل اول. در ذکر مقدمات و معرفت امکان کسوف به تقریب**
و آن مبنی بر سه مقدمه است:

مقدمه اول. در معرفت اختلاف منظر ماه در طول و عرض از جداول ثاون اسکندرانی که به حسب عروض اقالیم سبعه وضع کرده است بر آن تقدیر که قمر در بعد ابعد باشد و در اوایل بروج بود

و طریق او چنان است که ساعاتِ بُعد اجتماع را از نصف‌النهار یا نصف‌اللیل معلوم کنیم. و از برابر آن ساعات درآییم در جدولی که عرضِ آن اقلیمْ موافقِ عرضِ بلد ما باشد، چنانکه[۱] اگر پیش از نیمروز یابیم، مُثْبَت[۲] باشد از جانب قبل الزوال، و اگر بعد از نیمروز یابیم، مُثْبَت[۳] بود[۴] در جانب بعد از زوال؛ به روز: از برابر جزو اجتماع، که موضع[۵] قمر است، و به شب: از نظیرِ آنْ

۱. م: چنانک
۲. ت‌م‌ی: یابیم، مُثْبَت = یا نیم شب
۳. ت‌م‌ی: یابیم، مُثْبَت = یا نیم شب
۴. ی: باشد
۵. ت: جانب (تصحیح در حاشیه به «موضع»)

جزو. و اختلاف منظر طول برگیریم. و اختلاف [منظر] طول را به روز بر موضع قمر افزاییم،[۱] اگر بُعدِ جُزوِ اجتماع از طالع کمتر از نَود درجه است، //ی:۱۲۸پ// و اگر بیشتر است از او کم کنیم، تا موضع قمر معدَّل شود به اختلاف منظر در طول. و در شبْ //م:۱۰۸پ// عمل به عکس این باید کردن؛ یعنی، به جای نقصانْ //ت:۷۱پ// زیادت باید کردن[۲] و به جای زیادتْ نقصان. آنگاه، به حسب این موضع قمر[۳] معدّل اختلاف منظر[۴] عرض برگیریم. و آن را با عرض قمر جمع کنیم، اگر در یک جهت باشند، و فضل میان هر دو معلوم کنیم، اگر در دو جهت مختلف باشند تا عرض قمر مرئی حاصل شود. و اختلاف منظر عرض را آنجا که به سرخی نوشته‌ایم، آنْ نشانِ آن است که شمالی بود، و اگر نَه، جنوبی باشد.

مقدمه دوم[۵]. در معرفت امکان کسوف به تقریب

و طریق او چنان است که اجتماعی طلب کنیم که در روز باشد یا در دو طرف روز که بُعد جزو اجتماع از عقده رأس یا ذنب کمتر از هژده درجه بود. و عرض قمر مرئی در زمان آن اجتماع معلوم کنیم؛ اگر چنانکه کمتر از لد دقیقه [=′34] باشد، کسوف ممکن بود، و اگر نَه، ممکن نباشد. و چون معلوم شد که کسوف ممکن است، آنگاه، در تحقیق آن باید کوشیدن - چنانکه[۶] بعد از این بیان کنیم.

مقدمه سیوم[۷]. در تعدیل اختلاف منظر و تحقیق آن

و طریق او آن است که اگر عرضِ اقلیمِ جدولْ موافق عرض بلد[۸] ما نباشد، و موضع قمرْ اوّلِ برج نبود، و قمر در ذروه[۱] تدویر نباشد، و تدویر بر نقطه اوج حامل نبود، و ساعات بُعد نصف‌النهار را کسور باشد[۲]. در این صُورِ مفروض احتیاج افتد به پنج تعدیل:

---

۱. ی‌م: + و
۲. ی: ندارد.
۳. ی: که
۴. ی: ندارد.
۵. ی: ندارد.
۶. م: چنانک
۷. ت: سؤم
۸. ی: + ~~اقلیم~~

تعدیل اول: مابین العرضین

و آن چنان بود که عرض اقلیم مقدم را یک بار از عرض بلد کم کنیم. آنچه ماند آن را «فضله» خوانیم. و یک بار دیگر از عرض اقلیمِ تالی[۳] کم کنیم. آنچه ماند آن را «تفاضل» گوییم. آنگاه، تفاوت میان اختلاف منظر به حسب هر دو اقلیم بگیریم. و آن را در فضله ضرب کنیم و بر تفاضلْ قسمت کنیم تا تعدیل حاصل آید. آن را بر اختلافِ منظرِ اقلیمِ مقدم افزاییم، اگر فضلْ اختلاف[۴] منظرِ اقلیمِ تالی[۵] را بود، و اگر نَه، از او کم کنیم تا اختلاف منظر حاصل آید به حسب عرض بلد ما.

[تعدیل] دوم: معرفت اختلاف منظر به حسب جزو اجتماع، یعنی، موضع قمر

و آن چنان است که تفاوت میان اختلافِ //ی:۱۲۹ر// منظرِ اولِ برج[۶] کسوف و[۷] اول برج تالی[۸] او بگیریم. و آن را در درجات جزو اجتماع ضرب کنیم و بر سی قسمت //م:۱۰۹ر// کنیم تا تعدیل حاصل آید. آن را بر اختلافِ منظرِ اول[۹] برجِ[۱۰] اجتماع افزاییم، اگر فضل اختلاف منظرْ برجِ تالی[۱۱] را بود، و اگر نَه، از او کم کنیم تا اختلاف منظر حاصل آید به حسب جزو اجتماع. و این را «تعدیل مابین‌البرجین»[۱۲] خوانیم.

---

۱. م: ذرۀ
۲. ت: «کسور باشد» ندارد.
۳. تی‌م: ثانی
۴. ی: + ~~اول~~
۵. تی‌م: ثانی
۶. تی: بروج
۷. ی‌م: ندارد.
۸. تی‌م: بروج ثانی
۹. ی: ندارد.
۱۰. ی‌م: بروج
۱۱. تی‌م: ثانی
۱۲. ت: «این را «تعدیل مابین‌البرجین» خوانیم» = «این تعدیل را «مابین‌البرجین» خوانیم»

[تعدیل] سوم[۱]**: معرفت اختلاف منظر به حسب بودن قمر در تدویر**

و آن چنان است که از برابر خاصه معدله درآییم در جدول اختلاف تدویر و دقایقِ نسبِ اختلافِ[۲] تدویر برگیریم. و آن را دایما در اختلاف منظر که به حسب جزو اجتماع است ضرب کنیم تا اختلاف منظر معدَّل حاصل آید به حسب موضع قمر در تدویر.[۳]

طریقی دیگر. و آن چنان است که ضرب کنیم اختلاف منظر را[۴] در بهت یک روزه قمر. و حاصل را قسمت کنیم بر بهت اصغر او به حسب بودن تدویر در اوج حامل – که هست: یا مح [$=11;48^{o/d}$] – تا اختلافِ منظرِ معدل حاصل آید به حسب موضع قمر در تدویر.

[تعدیل] چهارم: معرفت اختلاف منظر قمر به حسب بودن او در فلک حامل

و طریق او آن است که از برابر مرکز قمر درآییم در جدول اختلاف و دقایق نسب اختلاف خارج مرکز بگیریم. و آن //ت:۷۲ر// اختلاف منظر معدل را در آن ضرب کنیم تا معدل شود به حسب موضع او در فلک خارج مرکز.

[تعدیل] پنجم آن است که اگر ساعات بعد نصف النهار را کسور باشد – یعنی، دقایق و ثوانی – پس، اینجا احتیاج افتد به تعدیل مابین‌السّطرین. پس، تفاضل بگیریم میان اختلاف منظرِ اولْ ساعتِ بُعد اجتماع و اختلاف منظرِ اولْ ساعت تالی[۵] او. و آن را در دقایقِ ساعات بُعد ضرب کنیم و بر شصت قسمت کنیم تا تعدیل حاصل آید. آن را بر اختلاف منظر ساعت[۶] مقدم افزاییم، اگر فضلِ اختلاف منظرْ ساعتِ[۷] تالی[۸] را بود، و اگر نَه، از او کم کنیم تا اختلاف منظر معدَّل حاصل آید به حسب آن ساعات و کسور – چنانک در باب تعدیل مابین‌السّطرین بیان کرده‌ایم.

---

۱. تم: سؤم

۲. ت: + اختلاف

۳. + چهارم (کاتب ز بر بالای کلمه قرار داده، به نشانه زاید)

۴. ی: ندارد.

۵. تی: ثانی

۶. تی‌م: ساعات

۷. ت: ندارد.

۸. تی: ثانی

و اینجا در بعضی اوقات احتیاج می‌افتد به تعدیل غریب. اما، تعدیل غریب آنجا بود که میان دو اختلاف //ی:۱۲۹پ// منظرِ طولْ نقطه‌ها نهاده‌ایم؛ و آنْ نشان است که به جای تفاضل که می‌گرفتیم در مواضع[1] دیگر، //م:۱۰۹پ// آنجا که آن دو عدد اختلاف منظر را - یعنی، اختلاف طول را – با هم جمع می‌باید کردن و آن را «تفاضل» نام کردن، و آن را در کسورِ ساعات بُعد ضرب کردن و بر شصت قسمت کردن. و آنچه حاصل آید، اگر مساوی دقایق اختلافی بود که از برابر ساعت[2] مقدم است، پس، آنجا اختلاف نباشد و اگر زیادت یا کم بود فضل میان هر دو باید گرفتن تا اختلاف مطلوب حاصل شود.

فایده. جدول اختلاف منظر طول را از آنجا که نقطه‌ها زده‌ایم یا صفر نهاده‌ایم به دو قسم کنیم: یک قسم، از جانب قبل از زوال، و قسم دیگر[3]، از جانب بَعد از زوال. و به غیر از نقطه‌های انقلاب، در بروج دیگر شاید که زوال - یعنی، نصف‌النهار - در یکی از این دو قسم افتد؛ پس، آن موضع نقطه‌ها یا صفرْ آن است که بُعد جزو اجتماع از طالعْ آنجا نَود درجه می‌شود که اختلاف منظر طول آنجا معدوم است. پس، از آن موضعْ اختلافات مناظر که در جانب قبل از زوال باشد حکم زیادت دارد، زیرا که بعد جزو اجتماع از طالع کمتر از نود درجه باشد، و در جانب دیگر، حکم نقصان دارد، بدان سبب که آن بُعدْ زیادت از نَود درجه باشد. لاجرم به جهتِ آنکه در یکی از آن دو ساعتْ اختلاف منظر طول را حُکمْ زیادت است و در ساعتِ دیگرْ حکمْ نقصانْ. و تفاضل را نَیز حُکمْ[4] همین است؛ پس[5]، بدین سبب، آنجا جمع لازم می‌آید، زیرا که اختلاف منظر مقدمْ به آن مقدار دقایقْ کم شده است و باز به مقدار دقایق اختلاف منظر تالی زیادت شده. و نیز از اینجا معلوم می‌شود که جزو اجتماع از تربیعِ جزو طالعْ شرقی است یا غربی به آسانی.

[III,14,2] فصل دوم. در معرفت جدول لطیف و ترکیب آن به جهت اختلافات منظر

و آن چنان است که اگر قمر در بعد ابعد باشد - یعنی، اگر خاصه معدله در وقت اجتماع 0 0 0 باشد - و اجتماع در اول برج بود و ساعات بُعد را از نصف النهار کسور نباشد و عرض بلدْ موافقِ

---

۱. ت: مواضعی

۲. ت‌ی‌م: ساعات

۳. ت: قسم دیگر = یک قسم

۴. ت: ندارد.

۵. ی‌م: ندارد.

عرضِ اقلیم جدولِ بود، احتیاج //ی:۱۳۰ر// نیفتد به این تعدیل‌ها که ذکر کردیم. و اگر حال به خلاف این باشد، نظر کنیم: اگر اجتماع پیش از زوال باشد، به اختلافات مناظر پیش از زوال عمل کنیم، و اگر اجتماع بعد از زوال بود، به اختلافات //م:۱۱۰ر// مناظر بعد از زوال. و چون به جهت //ت:۷۲پ// هر کسوفیْ از اینْ جدولی ترکیب می‌باید کردن، پس، از برای آن تا بر متعلم آسان شود.

ادراکِ ترکیبِ آن جدول. ترکیب کردیم به جهت مثال، به حسب کسوفی که واقع بود در روز شنبه[1] بیست و نهم ماه شوال سنه ۶۸۱[2] هجری. و از حوالی آفتاب حلقه نور بماند. و جانب جنوبی آن حلقه نور غلیظ‌تر می‌نمود. به موضعی که طول او بود از جزایر خالدات: فج 0 [$=83^o;0$] و عرض او از خط استوا: لط 0 [$=39^o;0$]. و جزو اجتماع چندین از برج دلو یز نط لح [$=17^o;59,38$]؛ بهت آفتاب در ساعتی: ب لا [$=0;2,31^{o/h}$]؛ بهت در یک ساعته قمر: لا کج [$=0;31,23^{o/h}$]، سبق قمر حقیقی در ساعتی: کح نب [$=0;28,52^{o/h}$].

و چون عرض اقلیمِ جدولْ موافقِ عرضِ اقلیمِ ما نبود، احتیاج افتاد به تعدیل مابین‌العرضین. و مثال آن چنان است که: عرض مقدم بود: لو [$=36^o$] و عرض اقلیم تالی: ما [$=41^o$]. پس، فضل گرفتیم میان عرض اقلیم مقدم و بلد مفروض، یافتیم: ج [$=3^o$]. و این را «فضله» می‌خوانیم. و تفاضل معلوم کردیم میان عرض اقلیم مقدم و تالی، یافتیم: ه [$=5^o$]. و چون اجتماعْ بَعد از زوال بود به چندین: 0 د [$=0;4^h$]، پس، در جدول به اختلافات مناظر بَعد از زوالْ بسنده کردیم و[3] جدولی وضع کردیم مرکب از ده جدول. و عدد آن این است:

آ. جدول اختلافات مناظر پیش از زوال به عرض اقلیم مقدم در اول برج اجتماع[4]، یعنی، دلو.

ب. جدول اختلافات مناظر برج تالی، یعنی، حوت، به عرض همان[5] اقلیم.

ج. اختلافات مناظر اول برج دلو به عرض اقلیم تالی.

د. اختلافات مناظر اول[6] برج حوت به عرض اقلیم تالی.

ه. اختلافات مناظر اول برج دلو به عرض بلد مفروض.

---

۱. ت: دوشنبه

۲. تی: ۶۱۸؛ حاشیهٔ م: «مطابق بیست و ششم فروردین ماه سنهٔ ۶۵۲ یزدجردی بوده است.»

۳. یم: در

۴. ت: اجتماعی

۵. یم: همایون

۶. ی: ندارد.

و. اختلافات مناظر[۱] اول برج حوت به عرض بلد مفروض.

ز. اختلافات مناظر به حسب برج اجتماع، یعنی، هژده[۲] درجه دلو.

ح. اختلافات مناظر معدَّل به حسب موضع قمر که آن را «جدول لطیف» می‌خوانیم.

ط. سبق[۳] حقیقی قمر.

ی. سبق مرئی او.

پس تفاوت //ی:۱۳۰پ// اختلافات[۴] مناظر اول برج دلو و حوت را به حسب این دو اقلیم در فضله ضرب کردیم و بر تفاضل قسمت کرد[یم] تا تعدیل حاصل آید. آن را بر اختلاف [منظر] اقلیم مقدم افزودیم، جایی که فضل[۵] اختلافات [مناظرْ] اقلیمِ تالی را بود، و از او کم کردیم، جایی[۶] که فضلِ اختلافاتْ اقلیمِ مقدم را بود. و حاصل را در جدول عرض بلد //م:۱۱۰پ// مفروض ثبت گردانید[یم] در جانب بعد از زوال.

و چون اجتماع در یح درجه دلو [= ♒18°] است، اینجا احتیاج افتد به تعدیلِ مابین‌البرجینِ اختلافات مناظر را، چنانک تفاوت اختلافات مناظر را میان اول برج دلو و حوت به عرض بلد مفروضْ در یح [=18] ضرب کردیم و بر ل [=30] قسمت کرد[یم] تا تعدیل مابین‌البُرجَیْن حاصل آمد[۷]. آن را بر اختلاف[۸] مناظر اول برج دلو افزودیم، جایی که فضلِ اختلافاتِ مناظرْ برج حوت را بود، و از او کم کردیم، در جایی که فضلِ اختلافاتِ مناظرْ برجِ[۹] دلو را بود. و حاصل را در جدول اختلافاتِ مناظر به حسب جزوِ اجتماع ثبت کردیم.

آنگاه، نظر کردیم: قمر از ذروه تدویر قریب هفتاد و چهار درجهٔ دور بود، پس، احتیاج افتاد به تعدیل اختلاف تدویر. پس، از برابر خاصه معدله ماه، که بود در زمان اجتماع: ب ید [= 2s

۱. ی: ندارد.
۲. تی: هجده
۳. ی: + قمر
۴. ت: ندارد.
۵. ی: فضل (در حاشیه)
۶. ت: ندارد.
۷. ی: آید
۸. ی: اختلافات
۹. ی: بروج

14°]، درآمدیم در جدول اختلاف تدویر. //ت:۷۳ر// و برگرفتیم دقایق نسب اختلاف[1] تدویر: سد [=64]. این را در جمیع اختلافات مناظر، که به حسب جزو اجتماع حاصل آمده بود[2]، ضرب کردیم و بر شصت قسمت کردیم و حاصل هر یک را در جدول لطیف نهاد[یم]. و چون از برابر مرکز قمرْ اختلاف خارج برگرفتیم، یافتیم: س [=60]. پس احتیاج نیفتاد به این تعدیل. آنگاه، [سبق] حقیقی قمر را، که بود: کح نب [=0;28,52]، ثوانی را جبر کردیم تا حاصل آمد چندین دقایق کط [=$0;29^{\circ/h}$]. این را در جدول او ثبت کردیم.

[III,14,3] فصل سیوم. در معرفت استخراج سبق مرئی به حسب جدول اختلافات مناظر

چون پیش از این گفته‌ایم که تفاضل اختلاف منظر را در روز از[3] سبق حقیقی باید کاست و در شب بر او باید افزود تا سبق مرئی حاصل شود، پس، چون اجتماعْ روزی بود تفاضل اختلافات مناظر طول را در جدول لطیف که[4] میان هر دو[5] ساعت بود از ساعات بَعد از زوالْ از سبق قمر حقیقی کم کردیم و در برابر آن ساعت نهاد[یم] تا ترکیب //ی:۱۳۱ر// این جدول تمام شد بر این منوال از جدول اختلافات منظر ثاون اسکندرانی.

[III,14,4] فصل چهارم. در تعدیل ساعات وسط کسوف به واسطه جدول لطیف

و طریق او چنان است که از برابر ساعات بُعد از نصف‌النهار درآییم در جدول لطیف. و اختلاف منظر طول برگیریم و آن را «اختلاف اول» خوانیم. آنگاه، آن را اگر خواهیم بر سبق حقیقی قمر[6] قسمت کنیم در ساعتی، و اگر خواهیم بر سبق مرئی، تا ساعات اختلاف اول حاصل آید. آن را بر ساعات بُعد اول افزاییم دایماً تا ساعات بعد ثانی حاصل آید و به همان مؤامره که پیش از این گفته‌ایم عمل کنیم، لیکن آن به حساب است و این به جدول، تا اگر به قول جمهور که مشهور است عمل کنیم سبق حقیقی را به کار داریم، و اگر به قول خازنی، که به تحقیق

---

۱. ی: در حاشیه.
۲. ت: ندارد.
۳. ی: ندارد.
۴. ی: ندارد.
۵. ت: ندارد.
۶. ی: سبق قمر حقیقی

نزدیک‌تر است، عمل کنیم سبق مرئی را استعمال کنیم، و اگر به قول بتانی عمل کنیم هر دو را به کار داریم.

و ما[1] به جهتِ مثالْ دو دستور وضع کردیم: یکی، بر آن قاعده که به سبق حقیقی عمل کنیم به مذهب جمهور، و دیگر، بر آن قاعده که به مذهب خازنی عمل کنیم به سبق مرئی.

مثالش. و آن چنان است که چون اجتماع حقیقی بعد از //ت:۷۳پ// نصف النهار بوده است به چندین کسر ساعات 0 د [=$0;4^h$]. پس، اینْ بُعد اول باشد از نصف‌النهار تا زمان اجتماع[2] حقیقی. پس، درآییم از برابر زوال در جدول لطیف. و اختلاف منظر طول برگرفتیم. و از برابر بُعد[3] اول در هر دو دستور ثبت کرد[یم]. آنگاه، آن را که در دستور اول بود بر سبق[4] حقیقی، که بود: کط [=$0;29^{\circ/h}$]، قسمت کردیم تا بیرون آمد ساعاتِ اختلافِ //ی:۱۳۱پ// اولْ چندین: 0 کط [=$0;29^h$]. این را در دستور اول ثبت کردیم از برابر اختلاف اول. و باز بر ساعاتْ بُعد اول افزودیم تا ساعات بُعد ثانی حاصل آید چندین: 0 لج [=$0;33^h$]. //م:۱۱۱پ// آنگاه، آن اختلاف[5] اول را که در دستور دوم نهاده‌ایم بر سبق مرئی، که بود: ک [=$0;20^{\circ/h}$]، قسمت کردیم تا بیرون آمد ساعات اختلاف اول 0 مب [=$0;42^h$]. این را در دستور ثانی از برابر اختلاف اول ثبت کردیم. و باز بر ساعات بعد اول افزودیم[6] تا حاصل آمد ساعات بعد ثانی: 0 مو [=$0;46^h$]. و[7] دیگر بار درآمدیم در جدول لطیف از برابر ساعات بعد ثانی دستور اول، و اختلاف منظر طول برگرفتیم معدل به تعدیل مابین‌السطرین: یط [=$0;19^\circ$] و آن را در دستور اول ثبت کردیم. و از برابر ساعات بُعد ثانیِ دستور ثانی اختلاف منظر طول برگرفتیم: کا [=$0;21^\circ$]. و این را در دستور ثانی ثبت کردیم. آنگاه نیرین را بر ساعات بعد ثانی دستور ثانی - که بود 0 مو [=$0;46^h$] - تقویم کردیم؛ آمد تقویم آفتاب: ی یح ا کج[8] [=$10s\ 18;1;23^\circ$] و تقویم ماه: ی یح کا کط [=$10s\ 18;21;49^\circ$]. بُعد میان نیرین گرفتیم؛ یافتیم: ک و [=$0;20;6^\circ$]. و این را

۱. ی: اما

۲. ت: اعتدال

۳. ت: ندارد.

۴. ت: بر سبق = در جدول

۵. یم: اختلافات

۶. تم: افزود

۷. یم: ندارد.

۸. یتم: مج

با اختلاف منظر طول - که بود: کا [$=0;21^{o}$]- موافق نیامد. و تفاوت میان هر دو به غایت اندک بود، یعنی، چندین ثانیه: ند [$=0;0,54^{o}$]. این را تضعیف کردیم؛ شد: چندین دقیقه و ثانیه: ا مح [$=1;48^{o}$]. این ثوانی را //ی:۱۳۲ر// یکی گرفتیم، چون[۱] زیادت از نصف بود، تا آمد دو دقیقه. این را بر ساعات بُعد ثانی افزودیم تا حاصل آمد ساعات بعد اجتماع مرئی از نصف‌النهار به تحقیق چندین: 0 مح [$=0;48^{o}$]. دیگر بار نیرین را بر ساعات بعد[۲] ثانی دستور اول، که بود: 0 لج [$=0;33$]، تقویم کردیم. و بُعد میان ایشان گرفتیم؛ یافتیم این مقدار دقایق و ثوانی: یج م [$=0;13,40^{o}$]. پس از اختلاف منظر طول، که بود: چندین دقیقه: یط [$=0;19^{o}$]، پنج دقیقه و بیست ثانیه کمتر آمد. پس، عمل را تا بار پنجم مکرر کردیم تا حاصل آمد ساعات بعد پنجم چندین: 0 مح [$=0;48^{h}$] و اختلاف منظر طول: کا [$=0;21^{o}$]. بدین ساعات، نیرین را تقویم کردیم، حاصل آمد تقویم شمس: ی یح[۳] ا کح [$=10s\ 18;1,28^{o}$] و تقویم ماه:[۴] ی یح کب لا [$=10s\ 18;22,31^{o}$]. بُعد میان ایشان گرفتیم، یافتیم چندین دقیقه و ثانیه: کا ج [$=0;21,3^{o}$]. و این مساوی است با اختلاف منظر بار پنجم. پس، معلوم شد ساعات بُعد پنجمْ ساعات //ت:۷۴ر// بُعد معدل است. اما این[۵] تقویم آفتابْ تقویم قمر مرئی باشد در وسط کسوف. و این تقویم ماه تقویم قمر حقیقی بود در وسط کسوف.

اما، فرق میان این دو عمل آن است که: عمل[۶] را که[۷] به سبق مرئی کردیم، به یک مقدمه تمام شد. //م:۱۱۲ر// و همین عمل را به سبق حقیقی کردیم، به پنج مقدمه تمام گشت. پس، فضیلت عمل سبق مرئی را بر سبق حقیقی به این مقدار هست. و گاه باشد که در بعضی کسوفات عمل سبق حقیقی به هشت مقدمه تمام می‌شود، گاهی که نزدیک افق می‌باشد.

و چون ساعات بعد معدّل معلوم شد[۸] و اجتماعْ بَعد از نصف‌النهار بود، ساعاتِ بُعد معدّل را بر ساعات نصف‌النهار که بود ه و مح [$=5;6,48^{h}$] افزودیم تا حاصل آمد ساعاتِ وسطِ کسوفِ

---

۱. ت: در حاشیه

۲. ت: ندارد.

۳. تم: مح

۴. ت: ندارد.

۵. ت: ندارد.

۶. ت: عملی

۷. ی: ندارد.

۸. ی: شود

معدل از روز شنبه مذکور ه ند [$=5;54^h$] و اگر اجتماع پیش از نصف‌النهار بودی، در این صورت کم بایستی کردن.

[III,14,5] فصل پنجم. در استخراج عرض قمر مرئی

و طریق او چنان است که به آن تقویم قمر حقیقی[۱] که به حسب[۲] ساعات بُعد معدل از نصف‌النهار تا زمان اجتماع مرئی استخراج کرده‌ایم عرض قمر بیرون آوریم. و از برابر همان ساعات بعد معدل از جدول لطیفْ اختلاف منظر عرض برگیریم - و آن همیشه جنوبی باشد در این اقلیم. آنگاه، نظر کنیم در عرض قمر: اگر هر دو در یک جهت باشند، هر دو را با هم جمع کنیم، و اگر در دو جهت مختلف[۳] باشند،[۴] کمتر از بیشتر نقصان کنیم، //ی:۱۳۲پ// تا عرض قمر مرئی حاصل آید.

مثالش: خواستیم تا عرض قمر مرئی بیرون آوریم؛ وسط جوزهر گرفتیم: ا یط یط[۵] ل [$= 1s\ 19;19,30^o$]. این را بر موضع قمر حقیقی در وسط کسوف - که بود: ی یح کب لا [$= 10s\ 18;22,31^o$] - افزودیم. حاصل آمد حصّهٔ عرض[۶] 0 ز مب ا [$=0s\ 7;42,1^o$]. از برابر اینْ عرض قمر برگرفتیم؛ یافتیم شمالیْ این: 0 م یا [$=0;40,11^o$]. آنگاه از برابر ساعات بُعد معدل از جدول لطیفْ اختلافِ منظرِ عرض گرفتیم؛ این: 0 م 0 [$=0;40,0^o$] و این همیشه جنوبی بُود. و این را از عرض قمر - که شمالی بود[۷] - کم کردیم حاصل آمد عرض مرئی قمر چندین ثانیه شمالی 0 0[۸] یا [$=0;0,11^o$].

[III,14,6] فصل ششم. در معرفت مقدار و ازمان کسوف به جدول

و طریق او آن است که از برابر عرض قمر مرئی درآییم در جدول کسوف در جانب طول جدول و از برابر بُهتِ قمر در ساعتیْ در جانبِ عرضِ جدول و دقایق سقوط و اصابع قطر و اصابع سطح

---

۱. ت: ندارد.

۲. ت: در حاشیه

۳. م: ندارد.

۴. ی:«هر دو را با هم جمع کنیم، و اگر در دو جهت مختلف باشند» ندارد.

۵. تی‌م: لط

۶. تم: + عرض

۷. ی: ندارد.

۸. ی: ه یج

برگیریمْ معدل به تعدیل مابین‌السطرین هم در طول و هم در عرض. آنگاه، دقایق سقوط را بر سبق یک ساعته قمر قسمت کنیم تا ساعات //م: ۱۱۲پ// سقوط حاصل آید. از آنجا ازمان کسوف معلوم کنیم - چنانک پیش از این گفتیم - و اصابع کسوف به دوازده نسبت کنیم تا مقدار کسوف دانسته شود.

مثالش: از برابر عرض قمر مرئیْ دقایق سقوط گرفتیم ی: لا یز ل له / ت: لا نز لب ل و اصابع کسوف برگرفتیم؛ یافتیم: یب [=12]. پس، معلوم شد که کسوفْ کلی است. آنگاه، دقایق سقوط را بر سبق قمر مرئی - که به حسبِ ساعاتِ بُعد معدل بود: چندین دقیقه کا [=$0;21^h$]- قسمت کردیم تا بیرون [آمد] ساعات سقوطْ این: ا لا [=$1;31^h$]. این را از ساعات وسط کسوف کم کردیم، آمد ساعات بدو کسوف: د یح [=$4;18^h$]، و باز بر آن افزودیم، //ت:۷۴پ// آمد ساعات تمام انجلاء: ز ک [=$7;20^h$]. پس، ساعات سقوط را تضعیف کردیم، حاصل آمد ساعاتِ وقوعِ کسوف از اول تا آخر: ج ب [=$3;2^h$]. آنگاه قطر[1] شمس بیرون آوردیم؛ یافتیم چندین دقایق و ثوانی: لب نط [=$32;59^o$] و قطر ماه چندین: لب یا [=$32;11^o$]. پس، چون قطر ماه از قطر آفتاب کوچک‌تر بود، معلوم شد که از محیط صفحه جرم شمسْ حلقه از نور خواهد ماند؛ و چون عرض مرئی یازده ثانیه شمالی است، پس، معلوم شد که جانبِ جنوبیِ حلقه نور غلیظ‌تر باشد.

و این ضعیفْ این کسوف را رصد کرد در حدود موغان. به عینه چنین بود. و این هم‌چون برهانی است بر صحت اصول این زیج و اعمال او[2].

عمل تأثیر کسوف و معظم آن تأثیر: چون خواستیم تا مدت تأثیر او را بدانیم، هر ساعتی از مدت وقوع کسوف را سالی گرفتیم و هر پنج دقیقه را[3] ماهی و هر دقیقه را[4] شش روز تا مدت تأثیر این کسوف حاصل آمد: سه سال شمسی و دوازده روز به تقریب. اما، عمل معظم تأثیر چنان است که ضرب کنیم ساعات وسط کسوف را در یه [=15] و قسمت کنیم بر اجزای ساعات زمانی آن روز تا ساعات زمانی حاصل آید میان موضع کسوف و طالع کسوف. آن را

---

۱. ی: قمر

۲. یم: و

۳. یم: ندارد.

۴. ی: ندارد.

ضرب کنیم در مدت وقوع کسوف و قسمت کنیم[۱] بر دوازده تا حاصل آید ساعات و دقایق. هر ساعتی به همان قیاس سالی گیریم تا مدت معظم تأثیر حاصل آید.

مثالش: ساعات وسط کسوف را - که بوده ند [$=5;54^h$] - در پانزده ضرب کنیم تا دایر حاصل آید //م:۱۱۳ر// فح ل [$=88;30^o$]. این را بر اجزای ساعات زمانیِ روزِ کسوف - که بود یب مه [$=12;45^h$] - قسمت کردیم تا ساعات زمانی حاصل آمد میان موضع کسوف و طالع کسوف[۲]: و نز [$=6;57^h$]. این را درمدت وقوع کسوف - که بود چندین ساعات و دقایق: ج ب [$=3;2^h$]- ضرب کردیم و بر دوازده قسمت کرد[یم] تا حاصل آمد ساعات مستوی چندین: ا مه کد ل[۳] [$=1;45,24,30^h$]. حصه او را گرفتیم از جدول حِصَص دقایق تسییری از ایام سال تا معلوم شد که معظم تأثیر او از اول زمان کسوف تا مدت یک سال باشد و نُه ماه و سه روز و بیست و سه ساعت به تحقیق.

کتابشناسی

بیرونی، ابوریحان، *القانون المسعودی*، حیدرآباد، دائرةالمعارف العثمانیة، ۱۹۵۴.

خازنی، عبدالرحمن، نسخه خلاصه *الزیج المعتبر السنجری* به نام *وجیز الزیج المعتبر السنجری*، نسخه خطی، ترکیه، استانبول، کتابخانه سلیمانیه، مجموعه حمیدیه، ش. ۸۵۹.

شیرازی، قطب‌الدین، *اختیارات مظفری*، نسخه خطی تهران، کتابخانه ملی، ش.۳۰۷۴ف. (استنساخ در سده هفتم هجری در روزگار حیات مؤلف)

شیرازی، قطب‌الدین ، *تحفة الشاهیة*، نسخه خطی تهران، مجلس، ش. ۶۱۳۰ (استنساخ در ۷۳۰ق. = ۱۳۲۹/۳۰م.)

طوسی نصیرالدین و منجمان مراغه، *زیج ایلخانی*، نسخه خطی آ: دانشگاه کالیفرنیا، ش. ۱۰۱۷؛ نسخه خطی ت: دانشگاه تهران، ش. ۱۶۵ مجموعه حکمت.

کمالی، محمد بن ابی عبدالله سنجر، *زیج اشرفی*، نسخه خطی، پاریس، کتابخانه ملی (Bibliothèque Nationale)، suppl. Pers. No. 1488.

۱. ت: «در مدت وقوع کسوف و قسمت کنیم» ندارد.

۲. ت: «و طالع کسوف» ندارد.

۳. ت: «کد ل» ندارد.

مظفّری، سید محمد، و غلامحسین رحیمی، «آنالیز داده‌های رصدی و پارامترهای سیاره‌ای محیی‌الدین مغربی در رصدخانه مراغه؛ بررسی موردی: پارامترهای ساختاری مدار سیاره زحل»، *تاریخ و فرهنگ*، ش ۸۵/۴ (پاییز و زمستان ۱۳۸۹)، صص ۸۳-۱۱۸.

المغربی، محیی‌الدین، *تلخیص المجسطی*، نسخه خطی، کتابخانه لیدن، ش. Or. 110.

همو، *ادوار الأنوار*، نسخه خطی، کتابخانه آستان قدس مشهد، ش. ۲۳۳؛ نسخه خطی ایرلند، دابلین: کتابخانه چستربیتی (Chester Beatty)، ش. ۳۶۶۵.

وابکنوی بخاری، شمس‌الدین محمد، *زیج محقّق سلطانی*، نسخه خطی: ایران، کتابخانه علومی یزد، ش. ۵۴۶؛ میکروفیلم آن در دانشگاه تهران، ش. ۲۵۴۶. نسخه خطی ت: ترکیه، کتابخانه ایاصوفیا، ش. ۲۶۹۴. نسخهٔ خطّی م: کتابخانه مجلس، ش. ۶۴۳۵.

Kennedy, E. S., 1956, “Parallax theory in Islamic astronomy” *ISIS* **47**: 33–53; reprinted in idem, 1983, *Studies in the Islamic exact sciences*, Beirut: American University of Beirut, pp. 164–184.

Mozaffari, S. Mohammad, 2009, “Wābkanawī and first scientific observation of an annular eclipse” *The Observatory* **139**: 144–146.

Mozaffari, S. Mohammad, 2010, “Wābkanawī’s annular eclipse” *The Observatory* **140**: 39–40.

Nallino, C. A. (ed.), 1899. *Al-Battani sive Albatenii Opus Astronomicum*. 2v. Milan, Milan University Press.

Neugebauer, Otto, 1975, *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, Berlin-Heidelberg-New York: Springer–Verlag.

Pingree, David (ed.), 1985, *Zīj al-‘Alā’ī*, *Astronomical Works of Gregory Chioniades*, vol. 1, Amsterdam: Gieben.

Said, S. S. & Stephenson, F. R., 1991, “Accuracy of Eclipse Observations Recorded in Medieval Arabic Chronicles” *Journal for the History of Astronomy* **22**: 297–310

Said, S. S. & Stephenson, F. R., 1996, “Solar and Lunar Eclipse Measurements by Medieval Muslim Astronomers I: Background” *Journal for the History of Astronomy* **27**: 259–273.

Said, S. S. and Stephenson, F. R., 1997, “Solar and Lunar Eclipse Measurements by Medieval Muslim Astronomers, II: Observations,” *Journal for the History of Astronomy*, **28**, 29–48.

Stephenson, F. R., 1997, *Historical Eclipses and Earth’s Rotation*, Cambridge: Cambridge University Press.

Toomer, G. J., 1998, *Ptolemy’s Almagest*, Princeton, Princeton University Press.