مجلّهٔ *تاریخ علم*، شمارهٔ ۸، ۱۳۸۸، ص۳۹-۵۴

مدل سیاره‌ای قطب‌الدین شیرازی در *اختیارات مظفری*[۱]

امیرمحمد گمینی
دانشجوی دکتری مطالعات علم؛ مؤسسه حکمت و فلسفه ایران
gamini@irip.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۸/۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱/۱۷)

چکیده

قطب‌الدین شیرازی از منجمان صاحب نظریه در حوزهٔ مدل‌های غیر بطلمیوسی است. بعد از آن که مدل سیاره‌ای قطب‌الدین برای سیارات خارجی، با مطالعاتی در دو کتاب *نهایة الإدراک فی درایة الأفلاک* و *التحفة الشاهیة* معرفی شد، مورخان علم متوجه شدند که این مدل در واقع از آنِ منجم دیگر مکتب مراغه، مؤیدالدین عُرضی، است. بنا بر این، مدل سیاره‌ای قطب‌الدین برای سیارات خارجی تا به امروز ناشناخته مانده بود. مدل سیاره‌ای قطب‌الدین برای سیارات خارجی، در کتاب *اختیارات مظفری* با وضوح بیشتری عرضه شده، که در این مقاله معرفی می‌شود. البته این مدل بر خلاف دیگر مدل‌های غیربطلمیوسی مکتب مراغه، دارای اشکالات رصدی است، چرا که در این مدل، مرکز تدویر در فاصلهٔ نسبتاً زیادی از مرکز تدویر بطلمیوس در نظر گرفته می‌شود و در نتیجه فاصلهٔ مشاهدات رصدی و مقادیر محاسبه شده قابل چشم‌پوشی نیست.

کلید واژه‌ها: مدل سیاره‌ای غیربطلمیوسی، *اختیارات مظفری*، قطب‌الدین شیرازی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

مقدمه

کتاب *الشکوک علی بطلمیوس* ابن‌هیثم را می‌توان نخستین نقد مدون دانشمندان مسلمان به نظریات بطلمیوس دانست. او در دو بخش از این کتاب، دو اثر نجومی بطلمیوس، *مجسطی*[۲] و

---

۱. مراتب تشکر خود را از جناب دکتر حسین معصومی همدانی و سرکار خانم دکتر اعوانی ابراز می‌دارم که شرایط استفاده از حمایت مالی مؤسسهٔ پژوهشی حکمت و فلسفه ایران را برای تهیهٔ این مقاله به صورت یک طرح پژوهشی فراهم آوردند.

2. *Almagest*

اقتصاص[1]، را نقد کرده است. در بیشتر این نقدها به تناقض‌های فیزیکی و فلسفی این آثار پرداخته شده است که از نظر ابن‌هیثم نیاز به حل و رفع داشت.

منجمان مسلمان تا سدهٔ هفتم هجری به این نقدها چندان توجه نکردند. با تأسیس رصدخانهٔ مراغه، گروهی از منجمان شاغل در این رصدخانه دست به نگارش آثاری زدند که مجموعه‌ای از نقدهای مدون را به مدل‌های بطلمیوس فراهم آورده است. *کتاب الهیئة* عُرضی (د.۶۶۴ ه ق) و *التذکرة فی علم الهیئة* نصیرالدین طوسی (د. ۶۷۲ ه ق) از اولین کتاب‌های هیئت هستند که درآنها ضمن بیان مدل‌های گردش افلاک، مشکلات مدل‌های بطلمیوسی نیز ذکر شده و در مواردی راه‌حل‌هایی برای این مشکلات آمده است که مدل‌های جدیدی را پدید می‌آورد و برخی محققان از آنها با عنوان مدل‌های غیربطلمیوسی نام می‌برند. مبدعان مدل‌های غیربطلمیوسی نتایج کمّی و رصدی مدل‌های بطلمیوس را صحیح و بدون اشکال می‌دانستند و به تصحیح اشکالات فیزیکی و فلسفی مدل‌ها توجه داشتند. پس به جای این که این مباحث در کتاب‌های زیج ظاهر شوند، در کتاب‌های هیئت مطرح شدند، چرا که این انتقادات در حوزهٔ رصدی و نتایج عددی نبود[2].

قطب‌الدین شیرازی (۶۳۴-۷۱۰ق) از جمله منجمان صاحب نظریه در حوزهٔ مدل‌های غیربطلمیوسی است. وی در چهار کتاب نجومی به این مهم پرداخت: *نهایة الادراک فی درایة الافلاک*، *التحفة الشاهیة*، *فعلت فلاتلم* و *اختیارات مظفری*. از این چهار کتاب به جز آخری که به زبان فارسی نوشته شده، بقیه عربی هستند. در این مقاله به بررسی مدل سیاره‌ای او برای سیارات خارجی، بر اساس کتاب *اختیارات مظفری*، می‌پردازیم.

پیش از این، کندی در سال ۱۹۶۶م خلاصه‌ای از تحقیق و بررسی آثار قطب‌الدین را در مقاله‌ای با عنوان «نظریهٔ سیاره‌ای در اواخر سده‌های میانه»[3] در مجلهٔ *ایسیس*[4] منتشر کرد. او در این مقاله، با اشارهٔ کوتاهی به مدل‌های غیربطلمیوسی خواجه نصیر و قطب‌الدین، آنها را با مدل کپرنیک مقایسه کرده است. در معرفیِ کوتاه مدل قطب‌الدین برای سیارات خارجی، کندی احتمال می‌دهد که قطب‌الدین این مدل‌ها را از کس دیگری اقتباس کرده باشد. در ۱۹۷۹م صلیبا مقاله‌ای با عنوان

1. *Planetary Hypothesis*

۲. مدل‌های ابن شاطر دمشقی برای خورشید و ماه، احتمالاً تنها مدل‌های غیربطلمیوسی هستند که در تدوین آنها تصحیحات رصدی مد نظر بوده است (صلیبا، ۱۹۸۷، ص۸).

3. Late Medieval Planetary Theory

4. *Isis*

«نخستین نجوم غیربطلمیوسی در رصدخانهٔ مراغه»[1] در همان مجله منتشر کرد. او در این مقاله، اول احتمال کندی را بررسی می‌کند و نشان می‌دهد که این مدل‌ها واقعاً برگرفته از کارهای منجم دیگری به نام «شیخ امام» است، ولی دربارهٔ هویت وی نظر قطعی نمی‌دهد. او در همان سال در مقالهٔ دیگری به نام «منبع اصلی مدل سیاره‌ای قطب‌الدین شیرازی»[2] ادعا کرده است که «شیخ امام» همان مؤیدالدین عُرضی است. با این فرض به نظر می‌رسد که قطب‌الدین مدل‌های سیاره‌ای خود را از عُرضی گرفته است. اما از آنجا که قطب‌الدین در آثار خود مدل‌های سیاره‌ای پیش از خود را نیز به تفصیل معرفی و نقد کرده است، گاه تمایز میان مدل‌های او و دیگران مشکل می‌شود. البته همهٔ این تحقیقات با بررسی کتاب‌های عربی قطب‌الدین انجام گرفته و این در حالی است که قطب‌الدین در کتاب *اختیارات مظفری*، مدل خود را با وضوح بیشتری معرفی کرده است. او در مقدمهٔ این کتاب می‌نویسد:

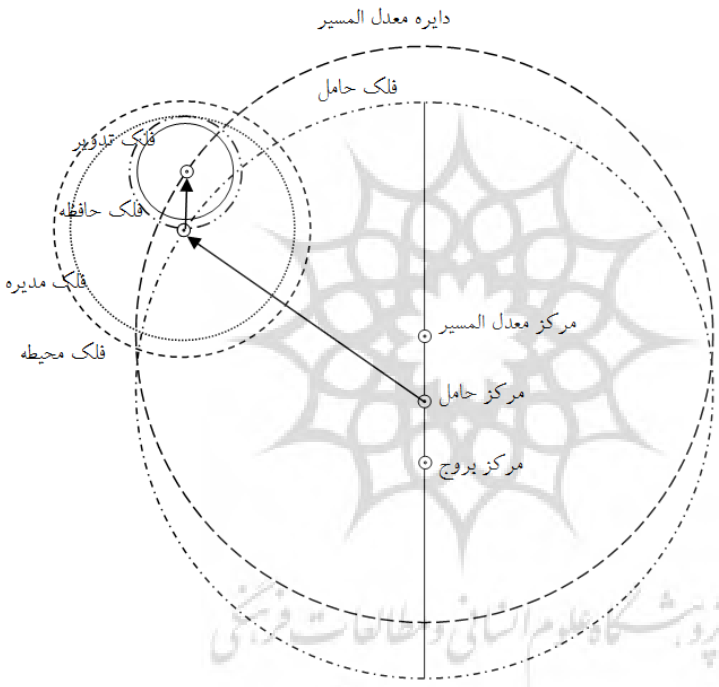
> «وچون آن علم [علم هیئت] بر وجهی که استاد صناعت، صاحب *مجسطی*، تقریر کرده است از اشکالات عظیم خالی نبود، مبرزان متأخران ... در حل آن مشکلات و کشف آن معضلات جهد المقال بذل کرده‌اند و به انواع حیل لطیف و قوانین بدیع تمسک نموده‌اند. بعضی جهات حرکات را از وضع صاحب *مجسطی* بگردانیده و بعضی بر همان قرار گذاشته و توهم افلاک زائد کرده. [ولی] علی الجمله از عهدهٔ آن مشکلات چنانکه باید تقصّی نکرده و از آن مضایق بیرون نیامده،... تا حل آن مشکلات بر او [قطب‌الدین] آسان گشت... وخواست که از جهت احراز فضیلت و مساهمت دیگر طلاب علم ... آن را در معرض انتشار و اشتهار آرد... پس به حکم این تشبث، کتاب *نهایة الادراک فی درایة الافلاک* بساخت. ... و خلاصهٔ آن اسرار در مختصری ثبت باید کرد... پس این اوراق اتفاق افتاد و آن را *اختیارات مظفری* نام کرده شد...» (قطب‌الدین شیرازی، گ۸ر–گ۸پ).

مدل قطب‌الدین برای سیارات خارجی بر اساس کتاب *اختیارات مظفری*

قطب‌الدین در باب هشتم از مقالهٔ دوم *اختیارات مظفری* (گ۶۸پ–گ۷۷پ)، مدل سیاره‌ای خود را معرفی می‌کند. وی در ابتدای این باب نشان می‌دهد که بطلمیوس با چه قرائن رصدی به وضع

1. The First Non-Ptolemaic Astronomy at Maraghah Observatory
2. The Original Source of Quṭb al-Dīn al-Shīrāzī's Planetary Model

افلاک سه گانه برای سیارات اقدام نموده است. همچنین مطرح می‌کند که چرا فلک حامل باید خارج مرکز باشد و نقطهٔ معدل‌المسیر چرا عرضه شده است و چه نقشی دارد. اما این سیارات حرکاتی دارند که نمی‌توان آنها را بر افلاک سه گانه قرار داد. قطب‌الدین برای حل این مشکل، سه فلک دیگر اضافه می‌کند و تعداد افلاک سیارات علوی را به شش فلک می‌رساند: فلک مُمَثَّل، فلک حامل، فلک محیطه، فلک مدیره، فلک حافظه، فلک تدویر (شکل ۱).



شکل ۱

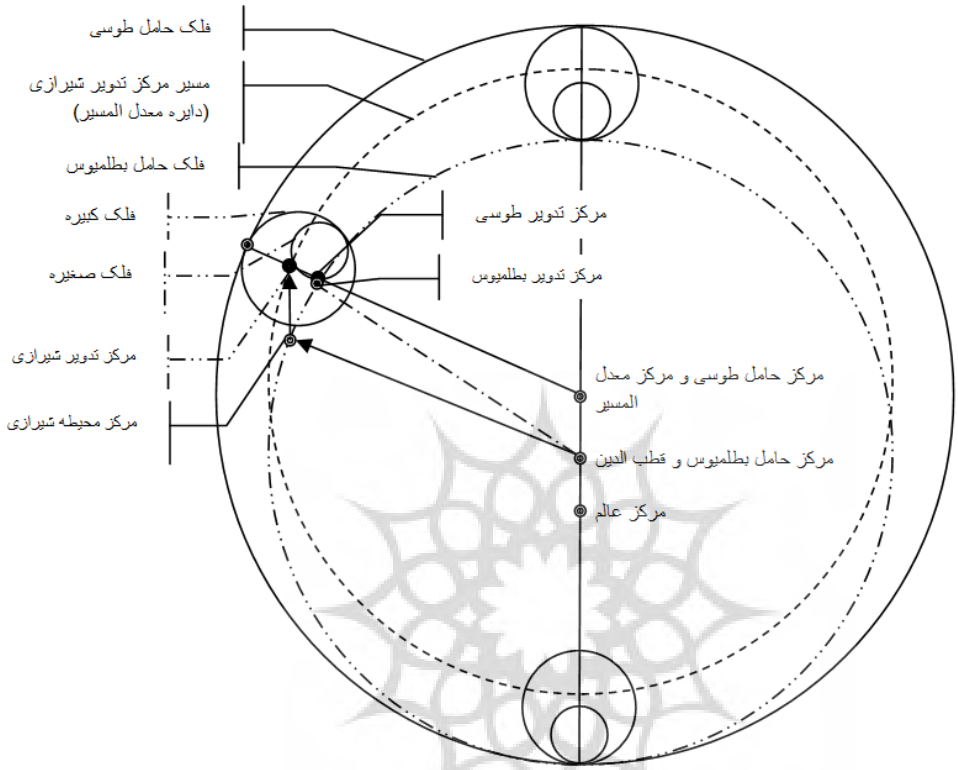
فلک حامل، فلک مدیره را با سرعت متوسط سیاره، در جهت توالی بروج، می‌چرخاند: زحل ۲ دقیقه در روز؛ مشتری ۵ دقیقه در روز و مریخ ۳۱ دقیقه در روز؛ این ارقام با ارقام بطلمیوس در *مجسطی* تفاوتی ندارند (نک: بطلمیوس، ص۴۲۹، ۴۳۲، ۴۳۵).

فلک مدیره با همان سرعت ولی در جهت خلاف توالی، افلاک داخل خود، از جمله مرکز تدویر را می‌چرخاند. شعاع فلک مدیره (خط واصل مرکز مدیره و مرکز تدویر) با فاصلهٔ میان مرکز عالم و

مرکز حامل برابر است و طبق قضیه‌ای که پیش از این، مؤیدالدین عرضی ثابت کرده است (نک : صلیبا، «نخستین...»، ص۷۰)، همیشه موازی خط واصل مرکز حامل و مرکز بروج می‌ماند، و بدین ترتیب سرعت چرخش مرکز تدویر نسبت به مرکز معدل‌المسیر برابر با سرعت متوسط سیاره و یکنواخت خواهد بود. بنا بر این، ضمن حفظ خاصیت معدل‌المسیر، هیچ کدام از افلاک دارای حرکت نایکنواخت نسبت به مرکز خود نبوده و اصل فلسفیِ یکنواختیِ حرکتِ افلاک مخدوش نمی‌شود. دو فلک دیگر به نام حافظه و محیطه در مدل شیرازی وجود دارند که در مدل‌های دیگر منجمان مراغه دیده نمی‌شود و نقش آنها چرخاندن ذروهٔ فلک‌های تدویر و مدیره است.

به منظور مقایسهٔ مدل قطب‌الدین با دیگر مدل‌ها در جدول زیر، این مدل‌ها بر اساس خروج از مرکز حامل، تعداد افلاکی که بر فلک تدویر قرار می‌گیرند (افلاک تدویری)، مسیر نهایی چرخش مرکز تدویر و مرجع یکنواختی چرخش مرکز تدویر مقایسه شده‌اند. تأمل در این جدول، تفاوت‌های ساختاری این مدل‌ها را آشکار می‌کند. در این میان می‌توان بر دو نکتهٔ مهم تأکید کرد. یکی اینکه مدل مؤیدالدین عُرضی، که به اشتباه به عنوان مدل قطب‌الدین معرفی شده بود، تفاوت‌های مهمی با مدل قطب‌الدین دارد. دیگر آنکه مدل قطب‌الدین یک تفاوت مهم با مدل‌های دیگر منجمان مراغه دارد و آن مسیر نهایی چرخش مرکز تدویر است. در آن مدل‌ها، مرکز تدویر همیشه در نزدیکی مرکز تدویر بطلمیوس قرار دارد، و بنا بر این همیشه روی همان مسیر قبلی حرکت می‌کند، اما رعایت نشدن این مسأله در این مدل باعث مشکلات رصدی برای این مدل می‌گردد.

مرجع یکنواختی چرخش مرکز فلک تدویر	مسیر نهایی چرخش مرکز تدویر	تعداد افلاک تدویری	خروج از مرکز حامل	
معدل‌المسیر	دایرهٔ حامل	۱	e	بطلمیوس
معدل‌المسیر	دایرهٔ حامل	۲	$e/_{۲}$	عُرضی
معدل‌المسیر	دایرهٔ حامل	۳	۲e	نصیرالدین طوسی
معدل‌المسیر	دایرهٔ معدل‌المسیر	۲ (۴)	e	قطب‌الدین

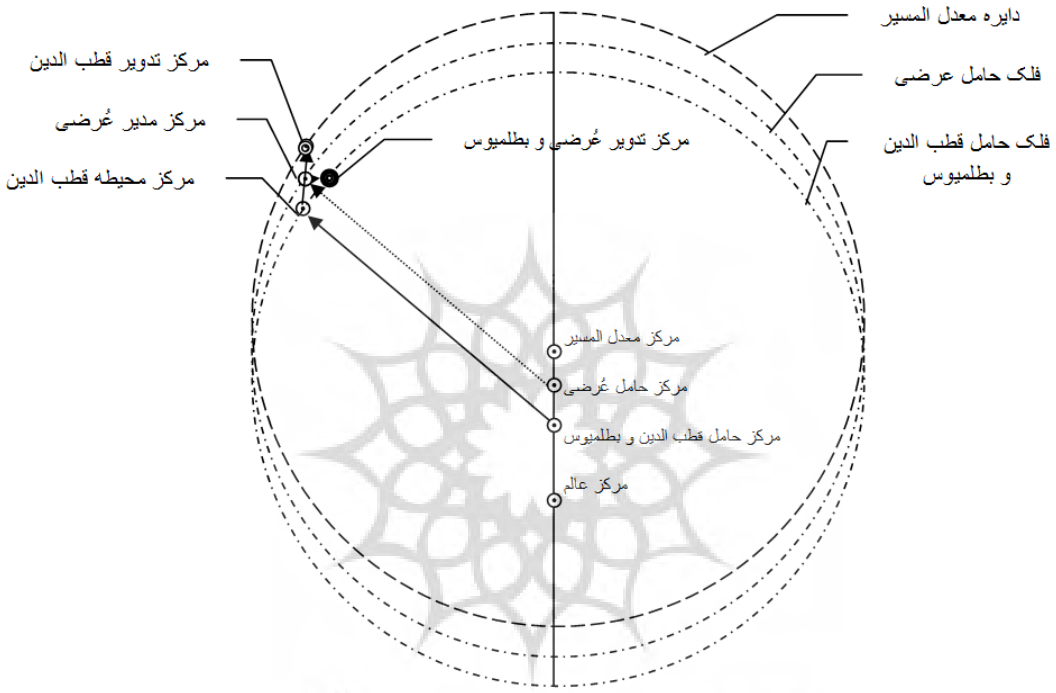


شکل۲، مقایسهٔ مدل طوسی و قطب‌الدین

نقد و بررسی نتایج رصدی مدل قطب الدین

چنان که اشاره شد، تفاوت مهم میان مدل قطب‌الدین با مدل‌های غیربطلمیوسی قبل و بعد از او آن است که مرکز تدویر در مدل قطب‌الدین با مرکز تدویر بطلمیوس فاصلهٔ نسبتاً زیادی دارد. عُرضی و خواجه نصیر در مدل‌های خود تلاش بسیار کرده‌اند که مرکز تدویر همچنان منطبق یا بسیار نزدیک به مرکز تدویر بطلمیوسی بماند. زیرا از آنجا که اشکال معدل‌المسیر یکی از اشکالات عمدهٔ مدل بطلمیوسی بوده است، منجمانی که در پی حل این مشکل برمی‌آمده‌اند در عین تغییر تعداد و اندازهٔ بعضی افلاک، همچنان مرکز تدویر را منطبق بر مرکز تدویر بطلمیوسی نگاه

می‌داشتند و افلاک جدید و قدیم را طوری می‌چیدند که در نهایت، مرکز تدویر در همان موقعیت مرکز تدویر بطلمیوسی قرار گیرد و همچنان نسبت به مرکز معدل‌المسیر یکنواخت بچرخد.



شکل ۳، مقایسهٔ مدل عُرضی و مدل قطب‌الدین

در چنین مدلی حرکت یکنواخت هیچ فلکی به دور نقطه‌ای جز مرکز خودش نیست، ولی با این همه، مرکز تدویر، حرکت یکنواخت خود را نسبت به مرکز معدل‌المسیر حفظ کرده و نسبت به مرکز حامل یکنواخت نمی‌چرخد. خلاصه آنکه هدف از ایجاد یک مدل غیر بطلمیوسی این است که با حفظ ملاحظات رصدی، مشکل معدل‌المسیر در مدل بطلمیوسی رفع شود و با تغییراتی در ترتیب وتعداد افلاک، همان حرکات سیاره را بر طبق مدل بطلمیوسی تقلید کند. ولی به نظر می‌رسد که قطب‌الدین در مدلش این موضوع را رعایت نکرده است. وی با جا به جا کردن مرکز

تدویر، مدلی عرضه کرده است که با وجود حل مشکل معدل‌المسیر، با رصدهای نجومی تناقض دارد. از سوی دیگر قطب‌الدین در متن *اختیارات*، خود را بسیار پای بند به برهان و رصد نشان می‌دهد و از اینکه سخنی بر خلاف برهان و رصد گفته شود به تندی انتقاد می‌کند. همچنان که بر مؤید الدین عرضی انتقاد می‌کند که چرا مرکز حامل را جا به جا کرده است. (قطب‌الدین، گ۷۶ر).

بطلمیوس و نقطهٔ معدل‌المسیر

بطلمیوس پیش از آنکه بر اساس رصد سه مقابله، مرکز حامل سیارات خارجی را در فاصله‌ای خاص (۲e) از مرکز عالم قرار دهد، اشاره می‌کند که مرکز حامل حتماً باید در نصف مقدار این فاصله از مرکز عالم قرار بگیرد (بطلمیوس، ص۴۸۰) چرا که بر اساس رصدهای دیگر که به طول کمان رجعت سیارات در اوج و حضیض مربوط می‌شود، این فاصله باید به نصف مقدار قبلی (یعنی e)کاهش یابد. ولی برای حفظ نتایج رصدهای سه مقابله، چرخش مرکز تدویر سیاره روی فلک حامل، باید نسبت به نقطه‌ای که در همان فاصلهٔ قبلی (۲e) از مرکز عالم قرار دارد، یکنواخت باشد. بدین ترتیب مفهوم نقطهٔ معدل‌المسیر شکل می‌گیرد. بطلمیوس در *مجسطی* برهانی را که بر اساس رصد کمان‌های رجعت سیارات مطرح می‌کند، توضیح نمی‌دهد و تنها به اشاره‌ای اکتفا می‌کند. بنا بر این اگر بطلمیوس به این برهان کمان رجعت (نک: دنبالهٔ مقاله) توجه نمی‌کرد، مرکز حامل سیاره را بر اساس همان برهان سه مقابله، در فاصلهٔ دو برابر مقدار فعلی یعنی در فاصلهٔ ۲e از مرکز عالم قرار می‌داد.

نکتهٔ مورد بحث این است که قطب‌الدین با استقرار مسیر گردش مرکز تدویر روی دایره‌ای به مرکز معدل‌المسیر، گویا به همان مدل اولیهٔ *مجسطی* پیش از کاربرد برهان کمان رجعت بازگشته است. درست است که مرکز حامل در مدل قطب‌الدین- مانند مدل بطلمیوس- در فاصلهٔ e از مرکز عالم قرار گرفته است، ولی با کاربرد فلک مدیره، مرکز فلک تدویر به روی دایرهٔ معدل‌المسیر بازگشته، و در نتیجه گویا برهان کمان رجعت نادیده گرفته شده است.

عجیب آنکه قطب‌الدین در جایی دیگر نشان می‌دهد که برهان کمان رجعت را می‌شناسد، و براساس این برهان، مدل عُرضی را به نقد می‌کشد. ولی معلوم نیست چرا در بیان مدل خودش به نتایج منطقی این برهان بی توجهی می‌کند.

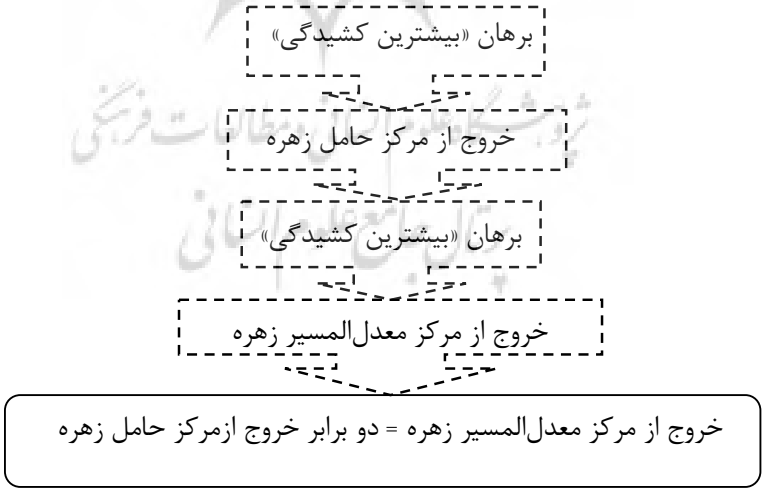
برهان بطلمیوس برای استقرار مرکز حامل در میانهٔ مرکز معدل‌المسیر و مرکز عالم

قطب‌الدین در *اختیارات* می‌گوید (گ ۷۶ر)، بطلمیوس مرکز حامل سیارات خارجی را در میانهٔ مرکز عالم و مرکز معدل‌المسیر قرار داده است، ولی دلیلی برای این کار نمی‌آورد و تنها در *مجسطی* اشاره‌ای به آن دارد (بطلمیوس، همانجا). اساساً در *مجسطی* به چهار برهان برای تعیین مقدار خروج از مرکز اشاره شده است. دو برهان برای تعیین مقدار خروج از مرکزِ نقطهٔ معدل‌المسیر و دو برای تعیین مقدار خروج از مرکزِ فلک حامل:

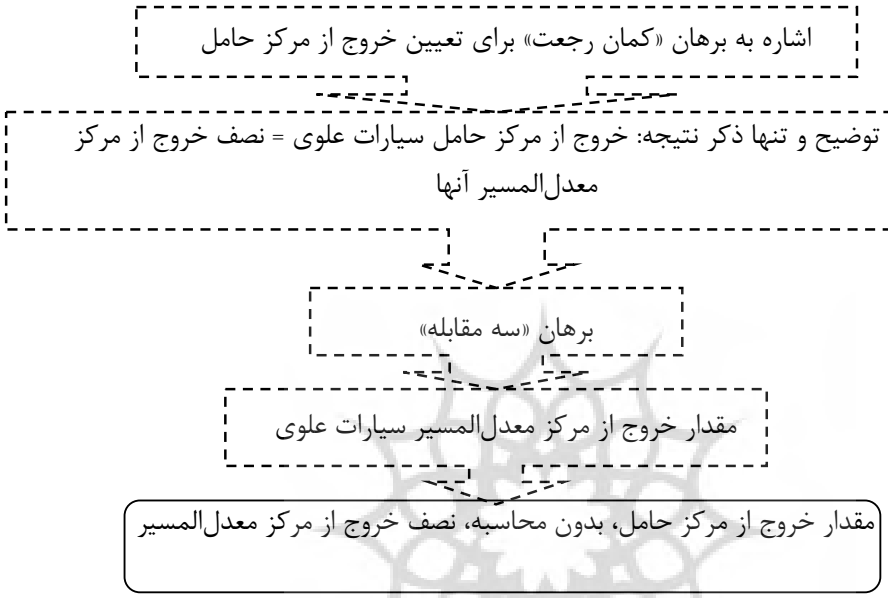
۱. برهان «شعاع تدویر»، در مورد زهره برای تعیین خروج از مرکز حامل (= e)
۲. برهان «بیشترین تعدیل»، در مورد زهره برای تعیین مقدار خروج از مرکز معدل‌المسیر(= 2e) (بطلمیوس، ۴۷۲)
۳. برهان «کمان رجعت در اوج و حضیض»، (بدون توضیح و تنها ذکر نام). برای تعیین مقدار خروج از مرکزِ حامل (= e) در سیارات خارجی (همو، ۴۸۰)
۴. برهان «سه نقطهٔ مقابله»، برای تعیین خروج از مرکز معدل‌المسیر، در سیارات خارجی (همو، ۴۸۴-۴۹۸، ۵۰۷-۵۱۹، ۵۲۵-۵۳۸)

مسیر بطلمیوس در استفاده از براهینش برای تعیین مقادیر خروج از مرکز افلاک به شکل زیر است.

سیاره زهره



سیارات خارجی: مریخ، مشتری و زحل



همان طور که دیده می‌شود، برهان بطلمیوس در *مجسطی*، در مورد سیارات علوی بر عکس روشی است که برای زهره به کار برده است. وی در مورد سیارهٔ زهره ابتدا خروج از مرکز حامل را از طریق شعاع تدویر به دست می‌آورد، سپس با روش «بیشترین تعدیل»، خروج از مرکز معدل‌المسیر را تعیین می‌کند، و متوجه می‌شود که مقدار خروج از مرکز معدل‌المسیر، دو برابر خروج از مرکز حامل است. اما در مورد سیارات علوی ابتدا با تقلید از زهره و با اشاره به برهان «کمان رجعت» خروج از مرکز حامل را نصف خروج از مرکز معدل‌المسیر معرفی می‌کند و با استفاده از برهان «سه مقابله» خروج از مرکز معدل‌المسیر را به دست می‌آورد و سپس مقدار خروج از مرکز حامل را بدون محاسبه و تفصیل برهان «کمان رجعت»، نصف خروج از مرکز معدل‌المسیر در نظر می‌گیرد (پدرسن[1]، ص۳۰۶-۳۰۷).

1. Pedersen

برهان «کمان رجعت» برای تعیین خروج از مرکز حامل سیارات خارجی

سوردلو در مقاله‌ای با عنوان «مبانی تجربی نظریهٔ سیاره‌ای بطلمیوس»[1] به تبیین این برهان پرداخته است. همان طور که گفته شد، بطلمیوس بعد از آنکه از طریق روش سه مقابله، مرکز معدل‌المسیر سیارات علوی را می‌یابد، حدس می‌زند که مرکز فلک حامل این سیارات هم مانند زهره در وسط فاصلهٔ مرکز عالم و مرکز معدل‌المسیر باشد.

تغییرات کمان رجعت سیارات در اوج و حضیض مدار، پدیده‌ای رصدی است که حدس بطلمیوس را به خوبی تأیید می‌کند. با استفاده از رصدهای مورد استناد بطلمیوس (ص۵۷۲-۵۸۱) می‌دانیم نصف کمان دو حرکت رجعی مریخ و مدت زمان آن دو، که یکی در اوج و دیگری در حضیض روی داده است و میانگین آنها به شرح زیر می‌باشد:

نصف زمان رجعت (t) روز	نصف کمان رجعت (λ-) درجه	
۴۰	۱۰	بیشینهٔ رجعت در اوج
۳۶	۸	رجعت میانگین در بعد اوسط
۳۲	۶	کمینهٔ رجعت در حضیض

متغیر λ- نصف کمان رجعت را نشان می‌دهد، و چون این کمان خلاف جهت متعارف است، به صورت منفی در نظر گرفته می‌شود. بنا بر این، بیشینهٔ نصف کمان رجعت در اوج ۱۰ درجه و کمینهٔ آن در حضیض ۶ درجه است.

شکل۴ نشان دهندهٔ موقعیت فلک تدویر در نزدیکی دو نقطهٔ اوج (A) و حضیض (B) است. نقطهٔ P_o موقعیت سیاره روی فلک تدویر در وسط حرکت رجعی (موقعیت مقابله) در لحظه‌ای است که نقطهٔ مرکز تدویر C روی اوج A قرار داشته است. P موقعیت سیاره در آخر رجعت یعنی لحظهٔ توقف دوم است و λ- نصف کمان رجعت می‌باشد، که بین موقعیت وسط رجعت و آخر رجعت را نشان می‌دهد. E مرکز معدل‌المسیر، O مرکز عالم یا موقعیت ناظر و r شعاع فلک تدویر است.

1. The Empirical Foundations of Ptolemy's Planetary Theory

بر این اساس اگر خروج از مرکز فلک حامل را همان مقداری که توسط روش سه مقابله برای مریخ (e'=۱۲) به دست آمده است (شعاع حامل=۶۰)، در نظر بگیریم[۱]، مقادیری که برای λ- در اوج و حضیض به دست می‌آید نه تنها با مقادیر رصد شده متفاوت است، بلکه بیشینه و کمینهٔ آنها هم معکوس می‌باشد.

در اوج: طبق محاسبات بر اساس خروج از مرکز e'= ۱۲، برای زمان ۴۰ روز، مقدار نصف کمان رجعت ۵;۲۵° =λ- به دست می‌آید، در حالی که مقدار رصد شده ۱۰° =λ- می‌باشد.

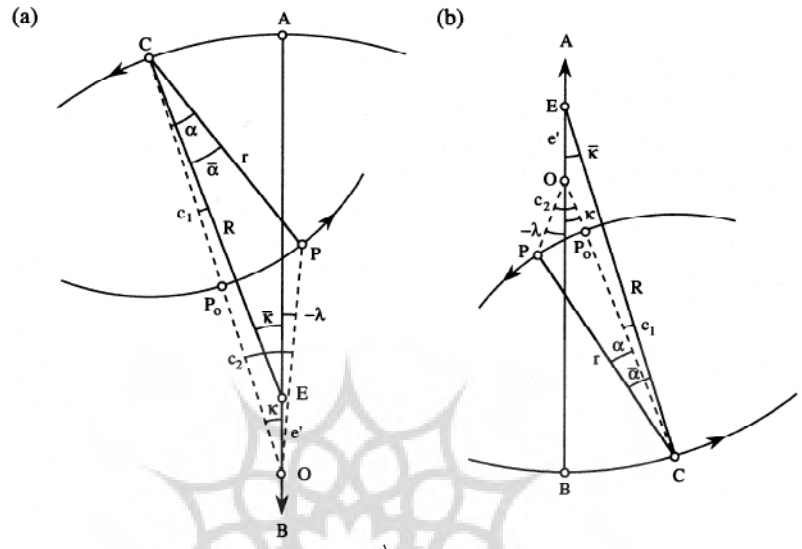
در حضیض: طبق محاسبات بر اساس خروج از مرکز e'= ۱۲، برای زمان ۳۲ روز، مقدار نصف کمان رجعت ۱۵;۳۱° =λ- به دست می‌آید، در حالی که مقدار رصد شده ۶° =λ- می‌باشد[۲].

در نتیجه، مدل خارج مرکز ساده با مشاهدات مذکور همخوانی ندارد. مدل خارج مرکز ساده، مدلی است که ناظر در نقطه‌ای بیرون از مرکز فلک حامل باشد و فلک حامل به دور مرکز خودش حرکت یکنواخت داشته باشد، اما این مدل با رصد همخوانی ندارد. در نتیجه می‌توان برای حفظ تطابق برهان و رصد، مقادیر رصد شده را فرض گرفت، و مقدار جدیدی را برای خروج از مرکز به دست آورد. مقادیری که به دست می‌آید، نشان می‌دهد که فاصلهٔ مرکز تدویر در نقطهٔ اوج به زمین (خط OC) نزدیک‌تر از مقداری است که قبلاً به دست آمده بود. بنا بر این اگر مقادیر رجعت‌ها در اوج و حضیض را فرض بگیریم، می‌توان مقدار خروج از مرکز را محاسبه کرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱. برای جزئیات محاسبات نک : سوردلو، ص۲۴۹-۲۷۱.

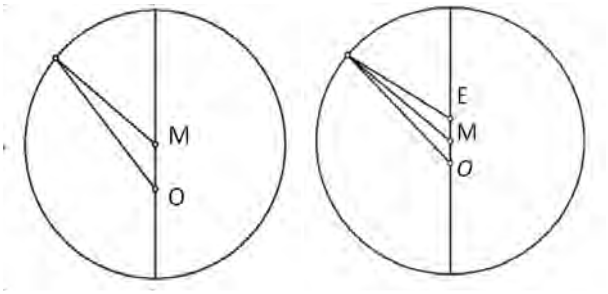
۲. سوردلو این مقادیر رصدی را از مقالهٔ دوازدهم *مجسطی* استخراج کرده است (نک : ص ۵۶۲-۵۷۵).



شکل۴[۱]

پس می‌توان احتمال داد که منظور بطلمیوس از برهان «کمان رجعت در اوج و حضیض» همین برهان مذکور بوده است. بطلمیوس بر اساس این برهان (یا برهانی مشابه)، مرکز حامل را به نقطه‌ای مانند M با خروج از مرکز e منتقل می‌کند، ولی از آنجا که مقدار قبلی خروج از مرکز را براساس برهان سه مقابله و حرکت یکنواخت مرکز تدویر تعیین کرده بود، مرجع حرکت یکنواخت سیاره را روی همان نقطهٔ قبلی به خروج مرکز e' حفظ می‌کند. وبدین ترتیب نقطهٔ معدل‌المسیر شکل می‌گیرد. شکل ۵ تفاوت این دو مدل را نشان می‌دهد:

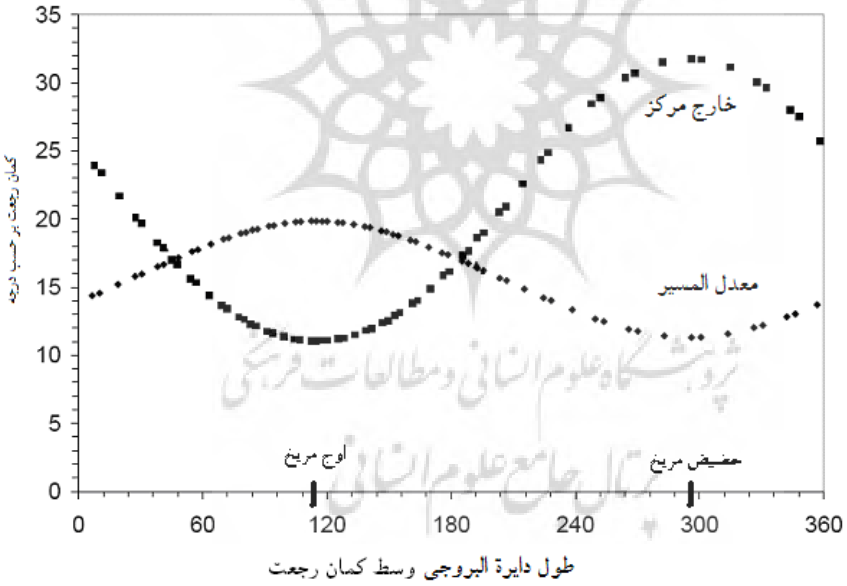
۱. شکل برگرفته ازمقالهٔ سوردلو، ص۲۶۱.



مدل خارج مرکز ساده مدل معدل‌المسیر

شکل۵[1]

ارتباط کمان رجعت با طول دایرة البروجی در نقاط اوج و حضیض در این سه مدل را می‌توان به صورت نمودار زیر نمایش داد. این نمودار نشان می‌دهد که کمان رجعت در موقعیت‌های مختلف مدار مریخ، چقدر است (نک: دیوک[2]، ص۹).



۱. شکل برگرفته از دیوک، ص۱۰.

2. Duke

در این نمودار محور عمودی، مقدار کمان رجعت سیارهٔ مریخ را بر حسب درجهٔ قوسی و محور افقی طول دایرةالبروجی حرکت رجعی را نشان می‌دهد. نقطهٔ اوج مریخ در حدود ۱۱۵ درجه طول دایرة البروجی و نقطهٔ حضیض مدارش در ۲۹۷ درجه قرار دارد. همان طور که دیده می‌شود، در مدل خارج مرکز (۲e=خروج از مرکز)، کمان رجعت در نقطهٔ اوج، به کمترین مقدار و در نقطهٔ حضیض، به بیشترین مقدار می‌رسد. ولی در مدل معدل‌المسیر این حالت بر عکس می‌باشد. در نتیجه فقط مدل معدل‌المسیر با رصدها سازگار است. چرا که رصدها نشان می‌دهد که کمان رجعت سیارات، در نقطهٔ اوج بیشترین مقدار و در نقطهٔ حضیض کمترین مقدار را داراست.

چنان که گفته شد، مدل سیارات علوی بطلمیوس قبل از اینکه با استفاده از برهان کمان رجعت تصحیح شود، به صورت مدل خارج مرکز بدون معدل‌المسیر بوده است. در مدل خارج مرکز، بیشینهٔ کمان رجعت در نقطهٔ حضیض و کمینهٔ آن در اوج مدار قرار دارد. ولی از آنجا که رصدهایی که در دسترس بطلمیوس قرار داشته دقیقاً بیانگر عکس این بود، وی مدلش را تصحیح می‌کند و نقطهٔ «معدل‌المسیر» را بدان می‌افزاید. همان طور که در نمودار ملاحظه می‌شود، در این مدل بیشینهٔ کمان رجعت در نقطهٔ اوج و کمینهٔ کمان رجعت در حضیض می‌افتد، دقیقاً همان طور که در داده‌های رصدی شاهد آن هستیم.

جالب است بدانیم تغییرات نصف کمان رجعت سیارات مشتری و زحل بسیار کم و حداکثر ۲۰ دقیقه است. در نتیجه، نیمه کردن مقدار خروج مرکز در این دو سیاره ضرورت زیادی ندارد، ولی بطلمیوس برای این دو سیاره نیز چنین کاری را انجام داده است.

نتیجه

مدل قطب‌الدین با قرار دادن مسیر چرخش مرکز تدویر روی دایره‌ای به مرکز معدل‌المسیر به واسطهٔ فلک حامل و فلک مدیره، از نظر نتایج رصدی با مدل اولیهٔ بطلمیوس پیش از کاربرد برهان کمان رجعت مطابقت پیدا می‌کند، یعنی با مدلی که دارای یک فلک حامل با خروج از مرکز ۲e بود و هنوز نقطهٔ معدل‌المسیر در آن شکل نگرفته بود. البته این تطابق تنها از جنبهٔ نتایج رصدی این دو مدل است، چرا که در مدل قطب‌الدین، حامل با خروج از مرکز e به همراه فلک مدیره، تدویر را روی دایره‌ای با خروج از مرکز ۲e می‌چرخاند، و بنا بر این نتایج یکسانی خواهند داشت.

با توجه به برهان کمان رجعت، همان طور که مدل اولیهٔ بطلمیوس در پیش‌بینی کمان رجعت سیاره در اوج و حضیض مریخ، تا حدود ۲۰ درجه خطا داشت، مدل قطب‌الدین نیز دچار همین مشکل است. طبق این مدل، حرکت رجعی مریخ اگر در نزدیکی نقطهٔ اوج روی دهد، $10;50^{\circ}$ خواهد بود، در حالی که رصدها، عددِ ۲۰ درجه را نشان می‌دهند. همچنین حرکت رجعی مریخ در حضیض، طبق مدل قطب‌الدین $31;2^{\circ}$ خواهد بود، در حالی که مقدار رصد شده، ۱۲ درجه است. وی در *اختیارات* هیچ اشاره‌ای به این اشکال و تناقضات موجود در این مدل نمی‌کند.

منابع

ابن‌هیثم، *الشکوک علی بطلمیوس*، تصحیح عبدالحمید صبره، قاهره، ۱۹۹۶م.

قطب‌الدین شیرازی، *اختیارات مظفری*، نسخهٔ خطی کتابخانهٔ ملی به شمارهٔ ۱۳۰۷۴-۵.

Duke, D.W., *An Interesting Property of the Equant*, Online: http:// people.sc.fsu.edu/ ~dduke/.

Kennedy, E.S., "Late Medieval Planetary Theory", *Isis*, vol. 57, 1966, pp. 365-378.

Pedersen, O., *A Survey of the Almagest*, Odense University Press, 1974.

Ptolemy, *Almagest*, translated and edited by G. J. Toomer, New Jersey, 1998.

Rosenfeld and Ihsanoğlu, *Mathematicians, Astronomers and other Scholars of Islamic Civilization*, Istanbul, 2003.

Saliba, G., "The First Non-Ptolemaic Astronomy at Maraghah Observatory", *Isis*, vol. 70, 1979, pp. 571-576.

___, "The Original Source of Quṭb al-Dīn al-Shīrāzī's Planetary Model", *Journal for the History of Arabic Science* vol. 3, 1979, pp. 3-18.

___, "Theory and Observation in Islamic Astronomy: The Work of Ibn al-Shaṭir of Damascus", *Journal for the History of Astronomy*, vol. 8, 1987, pp. 35-43.

Swerdlow, N., "The empirical foundations of Ptolemy's planetary theory", *Journal for the history of astronomy*, vol. 35, 2004, pp. 249-271.

پرتال جامع علوم انسانی