تاریخ علم، دورهٔ ۱۷، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۸، ص۳۶۵ـ۳۸۷

راهکار بطلمیوس برای تبیین حرکات سیارات در عرض و تعبیر فیزیکی آنها

مصطفی یاوری
کارشناس ارشد تاریخ علم، پژوهشکدهٔ تاریخ علم، دانشگاه تهران
mostafa.yavari@ut.ac.ir

حنیف قلندری*
استادیار، پژوهشکدهٔ تاریخ علم، دانشگاه تهران
hanif.ghalandari@ut.ac.ir

(دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۲، پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۳۱)

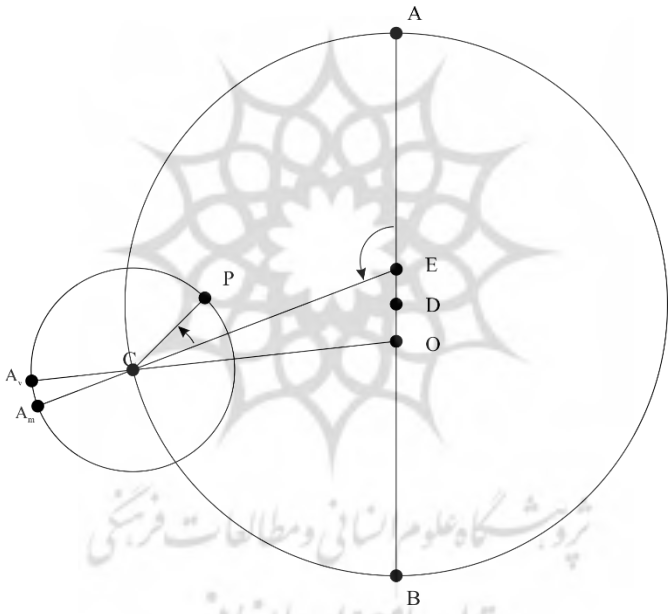
چکیده

تغییرات موقعیت سیارات در عرض دایرةالبروجی یکی از دشواری‌های مدل‌های بطلمیوسیِ حرکات سیارات است. بطلمیوس در مقالهٔ سیزدهم از کتاب مجسطی این مسأله را توضیح می‌دهد. او در تبیین این مدل‌ها ناگزیر شده است اجزای مدل سیاره‌ای را نسبت به یکدیگر زاویه‌دار کند. به‌نظر می‌رسد تا پیش از این، بطلمیوس می‌توانست تمام ناهنجاری‌های حرکت سیارات را با مدل‌هایی دوبعدی توضیح دهد، اما توضیحِ مقادیرِ اختلاف اندکی که در موقعیت سیارات نسبت به دایرةالبروج در عرض وجود دارد، موجب می‌شود مدل‌های سیاره‌ای از دایره‌هایی دوبعدی به اجسامی در سه بعد تبدیل شوند. با آن‌که بطلمیوس در اثر دیگر خود با نام الاقتصاص به ساختار افلاک سه بعدی توجه کرده است، اما به نظر می‌رسد در این بخش از مجسطی بنا به نیازِ الگویی که برای مدل حرکت عرض ساخته است، به صورت مستقل از الاقتصاص، در بارهٔ ساختار سه بعدی که عامل حرکت سیارات است توضیح می‌دهد و ساختار مجسم افلاک را به عنوان امری که در توضیح مدل عرض از آن گزیری نیست، ارائه می‌کند.

کلیدواژه‌ها: افلاک مجسم، الاقتصاص، بطلمیوس، عرض دایرةالبروجی سیارات، مجسطی، مدل‌های سیاره‌ای.

مقدمه

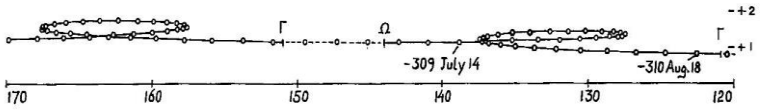
مدل‌های سیاره‌ای بطلمیوس در مجسطی به عنوان راهکاری برای تبیین حرکت سیارات و پیش‌بینی محل آنها در زمان‌های دلخواه، مدل‌های استانداردِ پذیرفته شدهٔ منجمانِ سده‌های میانه و از جمله منجمان دورهٔ اسلامی بوده‌اند. بطلمیوس برای ساخت الگوهای حرکت سیارات از مدل حامل و تدویر استفاده می‌کند. در این مدل به منظور توضیح اصلی‌ترین ناهنجاری در حرکت سیارات، یعنی حرکت بازگشتی، از ساز و کار حرکت دو دایره استفاده شده است. در این مدل، سیاره (P) روی دایرهٔ تدویر (PA_vA_m) قرار دارد و همراه با آن روی دایرهٔ بزرگتری به نام حامل (ACB) در حال گردش است (شکل۱).



شکل۱. مدل کلی سیارات خارجی و زهره در مجسطی (برگرفته از گمینی، ص۲۳۱)

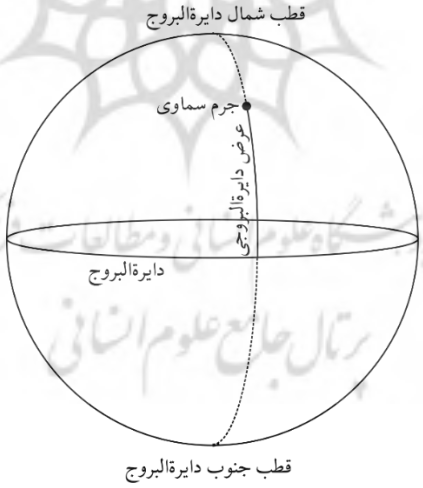
بطلمیوس در مقاله‌های نهم تا دوازدهم بر اساس همین مدل و نیز با افزودن چند پارامتر دیگر حرکت سیارات را در طول دایرةالبروج توضیح داده است. در همهٔ این مقالات بطلمیوس اشاره‌ای به تغییرات موقعیت سیارات در عرض نسبت به دایرةالبروج نمی‌کند و سخن گفتن در بارهٔ این موضوع را یک‌سره به مقالهٔ سیزدهم وامی‌گذارد.

در مقالهٔ سیزدهم بطلمیوس با طرح این مسأله سخن خود را آغاز کرده است که هنگام رصد سیارات، متوجه این نکته می‌شویم که آنها در مسیر حرکت ظاهری خود، همواره بر روی دایرةالبروج حرکت نمی‌کنند، بلکه در بیشتر مواقع کمی بالاتر یا پایین‌تر از آن هستند (شکل۲).



شکل۲. مسیر حرکت مشتری در آسمان، در حدود سال‌های ۱۲۰ تا ۱۷۰م (زمان‌های نزدیک به رصدهای احتمالی بطلمیوس؛ برگرفته از نویگباور،[1] ص۱۲۵۶)

در مختصات دایرةالبروجی به فاصلهٔ عمودی سیاره از خط دایرةالبروج عرض دایرةالبروجی سیاره گفته می‌شود. بنا بر تعریف مشهور دایرهٔ عرض دایرهٔ عظیمه‌ای است که از دو قطب دایرةالبروج و محل جرم سماوی می‌گذرد. قوسی از این دایره که میان جرم سماوی و دایرةالبروج قرار دارد، مقدار عرض را نشان می‌دهد (شکل۳).



شکل۳. عرض دایرةالبروجی

1. O. Neugebauer

بطلمیوس درمی‌یابد که با استفاده از ساز و کارهایی که در مدل‌های حرکت طولی در نظر گرفته بود، از عهدهٔ توجیه تغییرات عرضی سیارات برنمی‌آید (پدرسن،[۲] ص۳۵۵) و از این بابت مجبور می‌شود مدل را اصلاح کند. در یک تعبیر ساده، تمهیدی را که او برای این اصلاح در نظر گرفته است می‌توان زاویه‌دار کردن اجزای مدل نسبت به یکدیگر دانست (یاوری، ص۱)، منظور از زاویه‌دار کردن در اینجا آن است که او برای اجزاء مدل نسبت به یکدیگر میلی در نظر می‌گیرد، البته اینکه کدام جزء نسبت به کدام جزء دیگر مایل است از نتایج رصد به‌دست می‌آید. مسألهٔ عرض دایرةالبروجی سیارات با دو مشکل دیگر نیز همراه است:

- نخست این که مقادیر به‌دست آمده از رصدها چندان دقیق نیستند. گروهی از عوامل که موجب به‌وجود آمدن این مشکل می‌شوند از این قرارند: کوچک بودن زاویهٔ اختلاف عرض سیارات در حدود چند درجه؛ نزدیک بودن مقادیر بیشینه و کمینهٔ اختلاف عرض به زمان‌های قرانی سیارات و در نتیجه قابل رؤیت نبودنِ سیاره در برخی از این زمان‌های قرانی؛ در دسترس نبودن رصدهای پیشین به علت کمْ اهمیت بودن موضوع عرض و سختیِ رصد عرض سیارات توسط ذات‌الحلق.[۳]
- دیگر آنکه حتی با داشتن یک مدل برای حرکت عرض دایرةالبروجی سیارات، همچنان مقادیر خروجی مدل با نتایج تقریبی رصدها نیز همخوانی ندارد و بطلمیوس مجبور است در هنگام نوشتن جداول عرض در انتهای مقالهٔ سیزدهم مجسطی مسامحه به خرج دهد.

شاید این دشواری‌ها باعث شده‌اند که تعداد مطالعه‌های انجام شده در بارهٔ نظریهٔ عرض سیارات نیز بسیار اندک باشند و مطالعهٔ آنها نیازمند سطح بالایی از «شایستگی حرفه‌ای»[۴] باشد (نک : سوئردلو،[۵] ص۴۱). در این میان سوئردلو در مقاله‌ای با عنوان «نظریات بطلمیوس در بارهٔ عرض سیارات در مجسطی، جدول‌های آسان، و

2. O. Pederson

۳. بطلمیوس هرگز نحوهٔ اندازه‌گیری عرض توسط ذات‌الحلق و نتایج رصدهای خود را برای یافتن عرض سیارات (برخلاف سایر قسمت‌های مجسطی) شرح نمی‌دهد (سوئردلو، ص۴۱).

4. technical competence

5. N.M. Swerdlow

الاقتصاص»[۶] که تازه‌ترین نمونه از این دست تحقیقات است، پیچیدگی‌های مدل عرض را مطالعه کرده است و تمام مواردی را که بطلمیوس مجبور به مسامحه شده به درستی نشان داده است. همچنین با بررسی مقادیر عرض در سه کتاب مجسطی، جدول‌های آسان و الاقتصاص علاوه بر نشان دادن تقریبی بودن این مقادیر در همهٔ این آثار، یک ترتیب تاریخی در بارهٔ نوشته شدن این کتاب‌ها به‌دست داده است. نکته‌ای که مقالهٔ حاضر درصدد بیان آن است، مسألهٔ دیگری است که با ارائهٔ مدل سه‌بعدی عرض سیارات عارض می‌شود. این مسأله که در ابتدا بسیار ساده به نظر می‌رسد، همراه با خود مسائل جدیدی به علم نجوم وارد می‌کند. شاید برخی از مهم‌ترین مسائل از این قرارند: این اجزاء زاویه‌دار، چگونه نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند؟ آیا می‌توان تبیینی برای عوامل حرکت آنها از لحاظ طبیعی عرضه کرد؟ هرچند به‌طور تاریخی می‌توان تلاش‌های دانشمندان سده‌های میانه را برای پاسخ دادن به این مسائل دنبال کرد اما به نظر نویسندگان این مقاله بطلمیوس نیز در مجسطی تلاش کرده است تا پاسخی برای این سؤال دست و پا کند. همچنین با بررسی پاسخ بطلمیوس به مسائل فلسفهٔ طبیعی که از مدل عرض عارض می‌شوند و پیگیری تطور آن در مجسطی و الاقتصاص، می‌توان از راه دیگری به ترتیبی که سوئردلو برای نوشته شدن این کتاب‌ها آورده است، رسید. در این مقاله پاسخ بطلمیوس را به دشواری‌هایی که مدل عرض در پیش می‌آورد، بر اساس بخش دوم از مقالهٔ سیزدهم مجسطی بررسی می‌کنیم، همچنین راه‌حلی را که او در کتاب دیگرش، الاقتصاص، برای مسألهٔ عرض آورده است مطالعه خواهیم کرد تا رهیافت او را برای حل مسائل طبیعیِ یک مدل سیاره‌ای سه‌بعدی مشخص کنیم.

ساخت مدل عرض[۷]

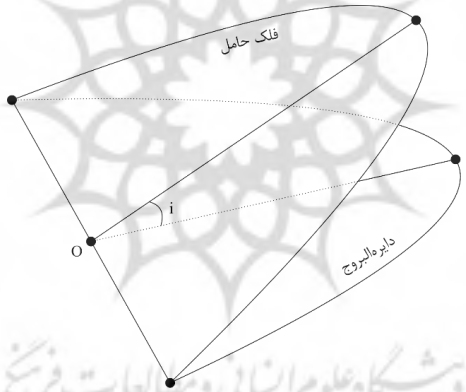
نظریهٔ عرض بطلمیوس نظریه‌ای کاملاً تجربی است، هر فرضی در نظریه، به معنای ساخت قسمتی از یک مدل است، که رصدها می‌توانند آن را تأیید کنند (سوئردلو،ص۴۱). به‌طور خلاصه می‌توان گفت شیوهٔ بطلمیوس چنین است که او بر پایهٔ رصدهایی که گاهی اوقات دقیق هم نیستند، مدل هندسی خود را پیشنهاد می‌کند.

---

6. Ptolemy's Theories of the Latitude of the Planets in the *Almagest*, *Handy Tables*, and *Planetary Hypotheses*.

۷. در این مقاله ارجاعات درون متن بر اساس مجسطی تنظیم شده است و کلیات مدلِ توجیه تغییرات موقعیت عرض سیارات بر اساس آن آمده است، برای یک توضیح کامل از چگونگی ایجاد مدلِ عرض با نمادگذاری‌های جدید نک : نویگباور، ص۸۰-۸۴؛ پدرسن، ص۳۵۵-۳۸۹؛ سوئردلو، ص۴۱-۶۵.

همچون ساخت الگوهای پیشنهادی در حرکت طولی، رصدهای عرضه شده در اینجا نیز مربوط به موقعیت‌های خاصی هستند که در ساختن مدل نقش حیاتی دارند. بطلمیوس می‌گوید که مانند الگوهای حرکت طولی، در حرکات عرضی نیز دو دسته اختلاف دیده می‌شود: یکی تغییر موقعیت نسبت به اجزاء دایرةالبروج و دیگری کشیدگی نسبت به خورشید (فاصلهٔ زاویه‌ای سیارات از خورشید). اولین اختلاف به سبب زاویهٔ دایرهٔ خارج مرکز سیارات نسبت به دایرةالبروج ایجاد می‌شود (عرض اول) و دومی به سبب میل دایرهٔ تدویر نسبت به دایرهٔ حاملِ تدویر یا همان دایرهٔ خارج مرکز (عرض دوم).[۸] علاوه بر این رصدها نشان می‌دهند که وقتی سیاره در صفحهٔ دایرةالبروج رصد می‌شود در تربیع خارج مرکز، در فاصلهٔ ۹۰ درجه‌ای از اوج فلک تدویر است.[۹] بنا بر این بطلمیوس فرض می‌کند رأس زاویهٔ میل دایرهٔ خارج مرکز در مرکز دایرةالبروج است و اضلاع زاویه در راستای قطر گذرنده از نقطه‌های شمال و جنوب دایرهٔ خارج مرکز هستند (بطلمیوس،[۱۰] ص۵۹۷؛ شکل۴).



شکل۴. رأس زاویهٔ میل (i) مرکز دایرةالبروج است (برگرفته از پدرسن، ص۳۵۷)

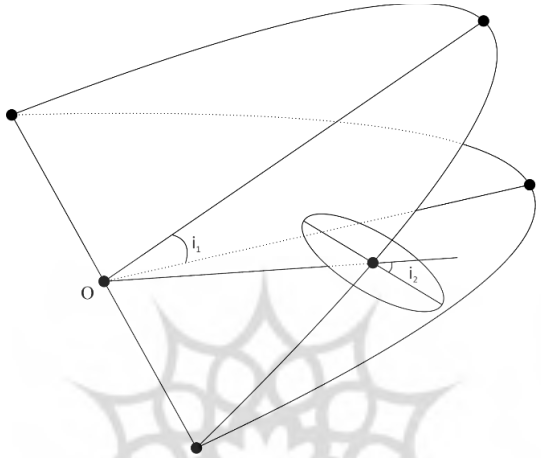
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۸. بطلمیوس اشاره می‌کند پیش از این در فصل شش از مقالهٔ نهم مجسطی نشان داده است که این دو میل، تفاوت قابل توجهی در موقعیت طولی سیارات ایجاد نمی‌کنند (ص۵۹۷).

۹. بطلمیوس از عبارت «ناهنجاری تصحیح شده» برای تعیین موقعیت سیاره روی فلک تدویر استفاده می‌کند. بر این اساس منظور او، موقعیتی است که با توجه به مدل طول برای سیارات تعدیل شده باشد. بر این اساس باید گفت که منظور او از موقعیت سیاره عمدتاً موقعیت مرکز فلک تدویر سیاره است.

10. Ptolemy

علاوه بر این رأس زاویهٔ میل دایرهٔ تدویر نیز در مرکز تدویر است و راستای اضلاع آن چنین است: یک ضلع آن موازی استوای حامل است و ضلع دیگر در راستای استوای تدویر است، همان خطی که ذروه و حضیض مرئی[۱۱] تدویر نیز بر روی آن قرار دارند (بطلمیوس، ص۵۹۷؛ شکل۵).



شکل۵. رأس زاویهٔ میل تدویر، مرکز فلک تدویر است

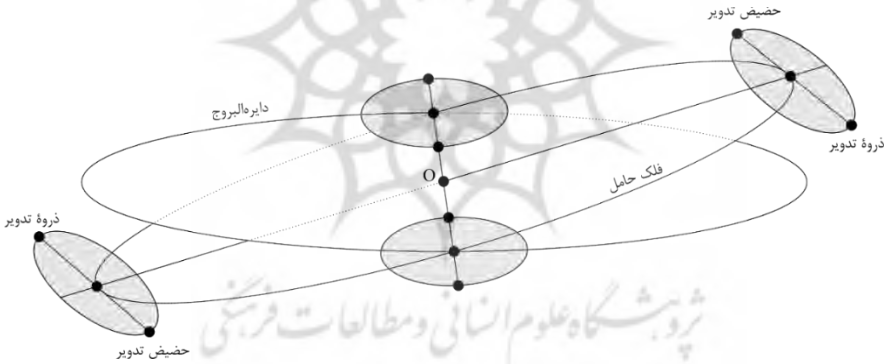
از این وضعیت می‌توان نتیجه گرفت که در مدل عرض، رأس زاویهٔ عرض‌های اول و دوم، مرکز عالم است (بطلمیوس، همان‌جا). به همین خاطر پیچیدگی‌هایی که افزودن نقطهٔ معدل‌المسیر ممکن است برای مدل به‌وجود بیاورد تا این‌جا در این مدل وارد نشده است.

علاوه بر این، از رصدهای سیاره‌های زحل، مشتری و مریخ می‌توان فهمید که این سیارات در نیمه‌ای از دایرهٔ خارج مرکز که از زمین دورتر است، یعنی در فاصلهٔ زاویه‌ای بین صفر تا ۹۰ درجه از اوج حامل در هر دو سمت نقطهٔ اوج، در شمال دایرةالبروج دیده می‌شوند. همچنین در موقعیت‌هایی که سیارات در حضیض تدویر هستند، شمالی‌تر هستند از زمانی که در همان موقعیت‌ها در اوج هستند. بالعکس، زمانی که این سیارات

۱۱. منظور از ذروه و حضیض مرئی محل تقاطع خطی است که از مرکز دایرةالبروج به مرکز تدویر رسم می‌شود و تا حد فلک تدویر ادامه دارد. نقاط تقاطع این خط را با فلک تدویر ذروه (اوج) و حضیض تدویر می‌نامند. تعیین محل این نقاط برای محاسبهٔ مقدار تعدیل دوم سیارات مهم است.

در نیمهٔ حضیضی دایرهٔ خارج مرکز هستند، یعنی در موقعیتی که به زمین نزدیک‌ترند، در جنوب دایرةالبروج ظاهر می‌شوند.

بطلمیوس اشاره می‌کند که بر اساس رصدهای او محل حد شمالی دایرهٔ حامل برای زحل و مشتری تقریباً در ابتدای برج میزان است و برای مریخ تقریباً در انتهای برج سرطان است و تنها برای مریخ این نقطه تقریباً بر اوج دایرهٔ حامل آن منطبق است. او از این رصدها نتیجه می‌گیرد که اجزایی از دایرهٔ حامل که در بالای دایرةالبروج قرار دارند، به سمت شمال متمایل هستند، و اجزای مقابل آن، به همان مقدار به سمت جنوب متمایل هستند (بطلمیوس، ص۵۹۷). میل اجزاء نیمهٔ حضیضی دایرهٔ تدویر، همواره در همان جهت میل حامل است. یعنی در نیمهٔ اوجیِ حامل، حضیضِ تدویر به سمت شمال متمایل است، و در نیمهٔ حضیضی حامل، حضیضِ تدویر به سمت جنوب متمایل است. و قطر دیگر تدویر (قطری که نقاط بُعد متوسط را روی تدویر به یکدیگر متصل می‌کند و بر قطر گذرنده از ذروه و حضیضِ آن عمود است) همواره موازی با سطح دایرةالبروج می‌ماند (بطلمیوس، ص۵۹۷؛ شکل۶)



شکل۶. نسبت ذروه و حضیض تدویر به فلک حامل در سیارات خارجی (برگرفته از گمینی، ص۲۰۱)

بطلمیوس اضافه می‌کند در مورد زهره و عطارد، نتیجهٔ رصدها نشان‌دهندهٔ آن است که موقعیت طولی آنها در اوج یا حضیض فلک حامل، یا موقعیت‌شان در ذروه یا حضیض تدویر، تفاوتی در شمالی یا جنوبی بودن عرض ایجاد نمی‌کند. فارغ از این که در کدام موقعیت طولی قرار دارند، یا چه موضعی در فلک تدویر دارند، زهره همواره

در شمال و برعکس آن، عطارد همواره در جنوب دایرةالبروج است (بطلمیوس، ص۵۹۸).

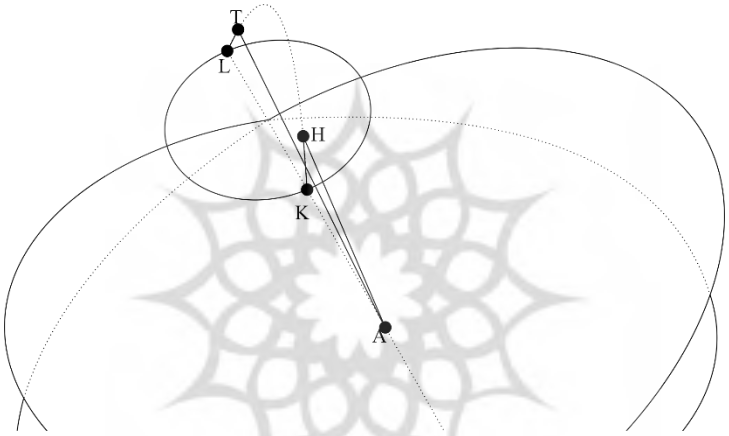
باید توجه داشت با این که عرض دایرةالبروجی این دو سیاره، در بیشترین کشیدگی‌ها بیشترین اختلاف را با یکدیگر دارد، مقدار آن در بیشترین کشیدگی غربی[۱۲] با مقدار آن در بیشترین کشیدگی شرقی متفاوت است. در حالی که مقدار عرض آنها در دو کشیدگی به یک اندازه از ذروه و حضیض تدویر تفاوت دارد، اما در جهت‌های مختلف.

برای زهره، در کشیدگی عصرگاهی، زمانی که مرکز تدویر در نیمهٔ حضیضی فلک حامل است، مقدار عرضی که رصد می‌شود شمالی‌تر از زمانی است که در نیمهٔ اوجی فلک حامل است. و در کشیدگی صبح‌گاهی در نیمهٔ حضیضی، عرض جنوبی‌تر از نیمهٔ اوجی است. درحالی که برای عطارد، عکس این صادق است، در اوج فلک حامل عرض آن جنوبی‌تر است و در حضیض شمالی‌تر (بطلمیوس، ص۵۹۸).

بطلمیوس بر پایهٔ داده‌هایی که مدعی است خود رصد کرده است، چنین ادامه می‌دهد که وقتی موقعیت طولی تعدیل شدهٔ سیاره طوری باشد که در یکی از گره‌های مداری قرار گیرد، اگر سیاره در فاصلهٔ زاویه‌ای ۹۰ درجه‌ای از ذروه یا حضیض تدویر باشد، دایرهٔ تدویر سیاره را به سمت سطح دایرةالبروج متمایل می‌کند. این در حالی است که سیاره بر روی حضیض تدویر در مقایسه با زمانی که بر روی ذروهٔ تدویر است بیشترین تفاوت در عرض را دارد. برای زهره در گره نزولی این تمایل به سمت جنوب است و در گره صعودی به سمت شمال، برای عطارد عکس آن صادق است. از این رصد نتیجه می‌گیریم که در سیارات داخلی میل حامل نیز متغیر است و دورهٔ تغییرات آن برابر با دورهٔ تغییرات تدویر روی حامل است. هنگامی که مرکز تدویر بر روی یکی از گره‌هاست، دایرهٔ حامل در سطح دایرةالبروج است، اما هنگامی که تدویر در اوج یا

۱۲. بطلمیوس دو عبارت کشیدگی صبح‌گاهی و عصرگاهی را به کار می‌برد، کشیدگی غربی یا صبح‌گاهی زمانی است که سیاره پیش از طلوع خورشید، در غربی‌ترین جدایی زاویه‌ای از خورشید و در نتیجه بیشترین ارتفاع از افق، قرار می‌گیرد. کشیدگی شرقی یا عصرگاهی زمانی است که سیاره پس از غروب خورشید، در بیشترین جدایی زاویه‌ای شرقی از خورشید و در بیشترین ارتفاع از افق، قرار می‌گیرد. باید به این نکته توجه کرد که در هنگام کشیدگی غربی یا صبح گاهی، سیاره در سمت شرق افق ناظر و قبل از طلوع خورشید رصد می‌شود، و در کشیدگی شرقی یا عصرگاهی، سیاره بعد از غروب خورشید در افق غربی ناظر رصد می‌شود.

حضیض است، حامل حداکثر مقدار عرض دایرةالبروجی را ایجاد می‌کند: بیشترین عرض شمالی برای زهره و بیشترین عرض جنوبی برای عطارد. همچنین نتیجه می‌گیریم که تدویر سبب ایجاد دو نوع تغییر در عرض می‌شود: اول هنگامی که مرکز تدویر در گره‌های حامل قرار دارد، قطر گذرنده از اوج و حضیض مرئی بیشترین میل را پیدا می‌کند. دوم قطر عمود بر قطر اوج و حضیض مرئی بیشترین انحراف[۱۳] را از اوج و حضیض حامل پیدا می‌کند. در مقابل، قطر اول فلک تدویر، در اوج و حضیض خارج مرکز، بر روی سطح مایل است و قطر دوم تدویر در گره‌ها، بر روی سطح دایرةالبروج است (بطلمیوس، ص۵۹۸-۵۹۹؛ شکل۷).



شکل۷. تشکیل کمان زاویهٔ میل تدویر سیارات داخلی در چشم رصدگر (برگرفته از یاوری، ص۱۹)

در اینجا باید اضافه کرد که این توضیحات پیچیده برای ساختن مدل عرض سیارات بعدها توسط پیروان بطلمیوس، به‌ویژه هیئت‌نویسان دورهٔ اسلامی، تسهیل شدند و معمولاً با عبارات ساده‌تری طرح شده‌اند. در یک توضیح کلی به جز عرض ماه که دلیل آن وجود یک فلک هم‌مرکز با دایرةالبروج است که زاویهٔ آن با دایرةالبروج همواره ثابت است و فلک حامل نیز در صفحهٔ آن حرکت می‌کند توجیه عرض باقی سیارات ذیل این دسته‌بندی است: در سیارات علوی دو عامل موجد عرض هستند و در سیارات سفلی

۱۳. اصطلاح کج‌شدگی (Slant) توسط تومر برای برای تمییز عرض سوم از دو عرض دیگر به‌کار می‌رود. این عرض در دورهٔ اسلامی چهار نام دارد: انحراف، التفاف، وراب و التواء (برای نمونه نک : امینی، متن رسالهٔ معینیه، ص۱۱۶).

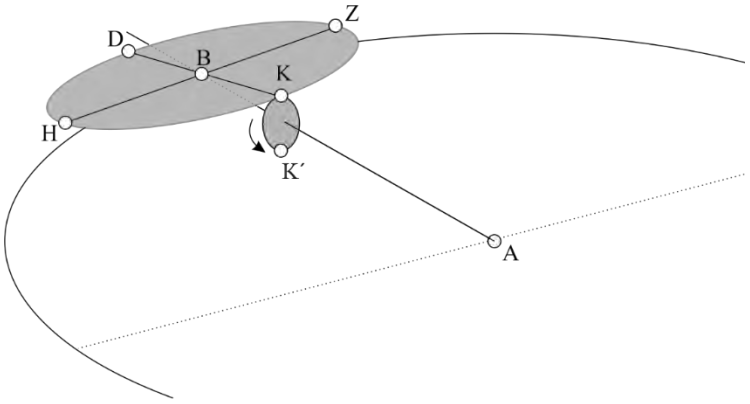
سه عامل. به‌دنبال این دسته‌بندی دلیل در نظر گرفتن هر یک از این عرض‌ها آمده است و برخلاف بطلمیوس کمتر به داده‌های رصدی مؤید مدل عرض اشاره شده است (برای نمونه نک : امینی، متن رسالهٔ معینیه، ص۱۰۸-۱۱۸).

توجیه حرکات متعدد فلک تدویر در مدل عرض

بطلمیوس بخش دوم مقالهٔ سیزدهم را با عرضهٔ نتایجی که از بحث پیشین گرفته است شروع می‌کند. او دو دسته نتیجه‌گیری کلی آورده است که این نتایج منجر به در نظر گرفتن تمهید زاویه‌دار کردن اجزای مدل نسبت به یکدیگر می‌شوند. بطلمیوس این نتایج را با این تفصیل آورده است:

دوایر خارج مرکز هر پنج سیاره نسبت به سطح دایرةالبروج مایل هستند، و رأس زاویهٔ میل آنها، در مرکز دایرةالبروج است. میلِ این دایره‌ها در سه سیارهٔ خارجی، مقدار ثابتی است، به طوری که جهت عرضِ نقطه‌های مقابل یکدیگر روی دایرهٔ خارج مرکز مخالف یکدیگر است (اگر یکی رو به شمال باشد، دیگری رو به جنوب است). در سیارات داخلی، دایرهٔ خارج مرکز همراه با تدویر در یک جهت عرض حرکت می‌کند، زهره همواره در جهات شمال دایرةالبروج و عطارد همواره در جهت جنوب آن (بطلمیوس، ص۵۹۹).

قطر فلک تدویر -قطر واصل ذروه و حضیض مرئی- توسط دایرهٔ کوچکی که در آن سرِ قطر که به مرکز عالم نزدیک‌تر است در نظر گرفته شده است، از مبدأ سطح دایرةالبروج حرکت می‌کند. شعاع این دایره متناسب با بیشترین مقدار عرض دوم هر سیاره است. همچنین این دایره عمود بر سطح دایرهٔ خارج مرکز است و به صورت یکنواخت با دوره‌ای برابر با حرکت طولی هر سیاره می‌گردد. این دایرهٔ کوچک، مطابق با فرضیه‌ای که بطلمیوس ساخته، از انتهای تقاطع سطح خودش و سطح فلک تدویر، در جهت شمال، سطح فلک تدویر را با خود می‌گرداند: در یک چهارمِ اولِ حرکت خود سطح فلک تدویر را به منتهاالیه شمالی می‌برد، در ربع دوم حرکتش تدویر را به سطح فلک حامل باز می‌گرداند، در ربع سوم تدویر را تا منتهاالیه جنوبی برده و در بازگشتش در آخرین ربع باقی مانده، دوباره تدویر را به سطح فلک حامل باز می‌گرداند. مبدأ و نقطهٔ انتهایی این گردش برای زحل، مشتری و مریخ، گره صعودی مدار آنها، برای زهره حضیض فلک حامل و برای عطارد اوج فلک حامل است (بطلمیوس، ص۵۹۹).

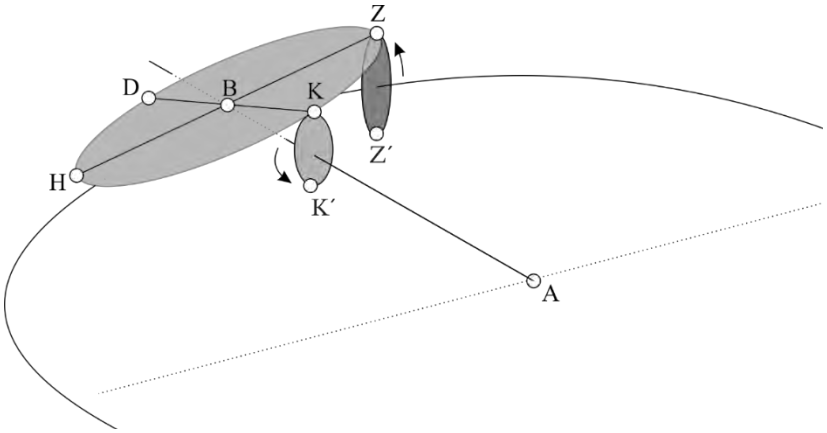


شکل۸. دایرهٔ KK′، دایرهٔ کوچکی که سبب حرکت فلک تدویر می‌شود

در ادامه بطلمیوس حرکت دیگر عرض را با این استدلال مشخص می‌کند: قطر دوم تدویر،[۱۴] در سه سیارهٔ خارجی، همواره موازی سطح دایرةالبروج باقی می‌ماند، یا هیچ‌گاه به مقدار قابل توجهی میل پیدا نمی‌کند که بتوان در بارهٔ آن سخن گفت.[۱۵] اما همین قطر دوم در زهره و عطارد، از مبدأ آن در سطح تدویر روی یک دایرهٔ کوچک که به انتهای آن متصل فرض شده است، می‌گردد. این دایرهٔ کوچک، اندازه‌ای متناظر با حداکثر انحراف متناسب با عرض دارد، عمود بر سطح دایرةالبروج است و مرکزش بر روی قطرِ موازی با دایرةالبروج است. بنا بر فرضیه‌ای که بطلمیوس می‌سازد، این دایره از یکی از منتهاالیه‌های تقاطع سطح خودش با سطح تدویر در جهت شمال و با سرعتی برابر با دیگر دایره‌های کوچک می‌گردد، و همراه با خودش انتهای قطر دوم تدویر را نیز مانند همان دایرهٔ قبلی می‌گرداند. به همین سبب مبدأ و نقطهٔ بازگشتش باید در یک نقطهٔ مشخص از دایرهٔ خارج مرکز باشد. این نقطه در زهره در گره صعودی و در عطارد در گره نزولی است. (دایرهٔ ZZ′ در شکل۹)

۱۴. این قطر دوم را قطر میان ابعاد متوسط گفته‌اند. این قطر با قطر متصل به ذروهٔ وسطی متفاوت است و قطر دیگری از دایرهٔ تدویر است که بر قطر اول، یعنی قطری که به ذروه مرئی می‌رسد، عمود است.

۱۵. باید توجه کرد که بطلمیوس در حال ساخت یک نظریه است و تمامی حالات محتمل را در نظر می‌گیرد.



شکل۹. دایرهٔ ZZ′، دایرهٔ کوچکی که قطر دوم فلک تدویر -در سیارات داخلی- بر گرد آن می‌گردد

بطلمیوس در اینجا باید برای حرکت این دایره‌های کوچک که پدید آورندهٔ حرکت عرضی در فلک تدویر هستندْ فرضیه‌ای بسازد. او به این نکته توجه می‌کند که این دایره‌ها توسط صفحاتی که انحراف در عرض را پدید آورده‌اند، به دو نیم شده‌اند. زیرا این تنها راهی است که می‌تواند حرکت عرضی تدویر را، به صورت برابر در دو طرف سطح آن به وجود آورد.

با این حال حرکت یکنواخت دورانی این دایره‌های کوچک به دور مرکز خودشان نیست و نسبت به نقطهٔ به غیر از مرکز است، از این بابت خروج از مرکزی متناظر با خروج از مرکز طولی سیاره نسبت به دایرةالبروج ایجاد می‌شود. چون بر اساس فرضیه، زمان گردش در دایرةالبروج و دایره‌های کوچک با هم برابرند، اگر حرکت یکنواخت دایره‌های کوچک حول مرکز خودشان باشد، نتیجهٔ دلخواه رخ نمی‌دهد. با فرض اینکه دایره‌های کوچک به‌طور یکنواخت حرکت کنند، هر ربع از دایره‌های کوچک در زمانی مساوی پیموده می‌شود، در حالی که تدویر در زمان‌های مساوی ربع‌های دایرةالبروج را نمی‌پیماید ، زیرا برای دایرهٔ حامل هر سیاره قبلاً در ساخت مدل حرکت طولی سیارات مقداری خروج از مرکز فرض شده است. اما اگر حرکت یکنواخت دایرهٔ کوچک حول نقطه‌ای متناسب با مرکز حرکت یکنواخت در دایرهٔ خارج مرکز باشد، بازگشت میل و حرکت طولی در ربع دایرةالبروج است در زمان یکسانی رخ می‌دهد (بطلمیوس، ص۶۰۰). نویگباور این دایره‌های کوچک را «تلاشی از سر عجز»[16] می‌داند (نویگباور،

16. “a feeble attempt”

ج۱، ص۲۱۷). تلاشی عاجزانه برای برقراری ارتباط میان مدل ریاضی با مدلی مکانیکی (نک : سوئردلو، ص۴۶).

ماهیت فیزیکی افلاک در مدل عرض سیارات بطلمیوس

یکی از مسائل اساسی نویسندگان آثار نجومی در سده‌های میانه، به‌ویژه دانشمندان اسلامی، ایجاد ارتباط میان الگوهای هندسی حرکت‌های سیارات و ماهیت طبیعی آنها بوده است. پدید آمدن یک دستهٔ جداگانه از آثار نجومی را در دورهٔ اسلامی با عنوان کلی آثار هیئت می‌توان دلیل این مدعا دانست. در این آثار تلفیق طبیعیات ارسطویی و الگوهای هندسی حرکت، مدلی فیزیکی به‌دست می‌دهد که در آن افلاک، رویه‌های کروی محصور میان دو سطح کروی، عامل اصلی ایجاد حرکات هستند. این افلاک از جنس عنصر پنجم، عنصر تشکیل دهندهٔ آسمان هستند که در طبیعیات ارسطو مبدأ حرکت مستدیر است و هیچ‌یک از ویژگی‌های عناصر اربعه را ندارد. محققان تاریخ نجوم بر آن هستند که بطلمیوس در مجسطی در بارهٔ ماهیت طبیعی الگوهای هندسی خود نظری ارائه نکرده است و مدل‌های آمیخته با الگوهای طبیعی در الاقتصاص آمده‌اند (برای تفصیل بحث نک : قلندری، «ماهیت فیزیکی...»، ص۷۶-۷۹). اما توضیحاتی که در یک بند از بخش دوم مقالهٔ سیزدهم مجسطی در بارهٔ ساختار نظریات و رابطهٔ آن با واقعیت ارائه شده است (بطلمیوس، ص۶۰۰-۶۰۱) می‌تواند نشان‌دهندهٔ این موضوع باشد که او در این فصل از مجسطی به مادهٔ سازندهٔ افلاک و چگونگی حرکات افلاک در یکدیگر اشاره کرده است. به عبارت دیگر می‌توان مدعی شد که بطلمیوس در مجسطی نیز متوجه اصول فیزیکی که می‌باید برای مدل‌های خود در نظر می‌گرفته، بوده است؛ هر چند که این توجه در یکی از دشوارترین فصل‌ها، یعنی توجیه مدل‌های عرض، آمده است. او می‌نویسد:

> اکنون، با توجه به طبیعت پیچیدهٔ تمهیدات ما، هیچ‌کس نباید چنین حکم کند که فرضیه‌ها بیش از حد پیچیده هستند. زیرا مقایسهٔ امور بشری با امور الهی مناسب نیست و نباید کسی اعتقاد خود را بر پایهٔ چنین قیاس مع‌الفارقی بنا گذارد. چرا که کدام دو چیز را می‌توان با هم مقایسه کرد، بی‌شباهت‌تر از موجودات جاودانه با موجودات تغییرپذیر؟ یا [مقایسهٔ بین] آن موجوداتی که می‌توان با چیزی مانع‌شان شد، با موجوداتی که نمی‌توان برایشان مانعی، حتی توسط خودشان ایجاد کرد؟ بایستی تلاش کرد تا جایی که ممکن است، فرضیه‌هایی ساده‌تر را با حرکات سماوی انطباق داد، ولی اگر این میسر نشد،

باید فرضیه‌هایی را به‌کار برد که با آنها منطبق باشند.[۱۷] زیرا، اگر هر یک از این فرضیه‌ها پدیده‌ها را به قدر کافی نجات می‌دهد [یعنی توضیح می‌دهد] چرا کسی باید فکر کند عجیب است که چنین ساخته‌های پیچیده‌ای می‌توانند حرکت اجرام سماوی را توصیف کنند، در حالی که طبیعت آنها به نوعی است که هیچ مانعی ایجاد نمی‌کنند بلکه از نوعی است که به حرکت طبعی در هر جزء از آنها راه می‌دهد و آن را مجاز می‌دارد، حتی اگر [این حرکات] مخالف با یکدیگر باشند. بنا بر این، به‌سادگی، تمام اجزاء می‌توانند به راحتی از میان دیگر اجزاء عبور کنند و از میان آنها دیده شوند. و این آسانی عبور تنها در بارهٔ دایره‌های منفرد صدق نمی‌کند ، بلکه در بارهٔ خود کره‌ها و محورهای چرخش ایشان نیز صدق می‌کند. ما می‌بینیم که در مدل‌های ساخته شده بر روی زمین، تناسب این اجزا با یکدیگر برای نشان دادن حرکات مختلف که مانع یکدیگر نشوند دشوار است، درحالی که در آسمان، از این ترکیبات هیچ مانعی پدید نمی‌آید. ما نباید در بارهٔ سادگی در آسمان بر پایهٔ چیزهایی که بر روی زمین ساده به نظر می‌رسند داوری کنیم. مخصوصاً که حتی این‌جا [بر روی زمین] چیزهای واحد برای همه به طور یکسان ساده نیست. زیرا اگر ما بر اساس این معیارها[ی زمینی] قضاوت کنیم، هیچ یک از اتفاقات آسمانی، ساده به نظر نمی‌رسد، حتی طبیعت بدون تغییرِ حرکت نخستین، زیرا برای ما [دستیابی به] این کیفیت بسیار تغییرناپذیرِ ابدی [تنها] سخت نیست، بلکه کاملاً غیرممکن است. در عوض ما بایستی سادگی را از تغییرناپذیری طبیعت اجرام آسمانی و حرکاتشان قضاوت کنیم. به این ترتیب تمامی حرکات ساده به نظر می‌رسند، بیشتر از آن که بشود روی زمین حتی به آن فکر کرد. زیرا هیچ سختی و زحمتی ملازمِ گردش ایشان متصور نیست.

در نگاه نخست مهم‌ترین بخش این پاراگراف آنجایی است که بطلمیوس در بارهٔ لزوم سادگی فرضیه‌ها و پس از آن در بارهٔ نجات پدیده‌ها سخن می‌گوید. بطلمیوس مدل‌های سیاره‌ای را روشی پیچیده می‌خواند و می‌گوید با این که اولویت در سادگی است، اما نباید کارا بودن فرضیه (مدل) را فدای سادگی آن کرد. هر چند بطلمیوس خود

۱۷. گمینی در دایره‌های مینایی (ص۱۹) این جملات را از این بند به فارسی برگردانده است و ما نیز آن ترجمه را در نظر گرفته‌ایم. گمینی این بند را نشان‌دهندهٔ این می‌داند که بطلمیوس مدل‌های خود را توصیف کنندهٔ مصنوعات الهی می‌داند و احتمالاً آنها را واقعی می‌دانسته است.

در بارهٔ دلیل این پیچیدگی‌ها اظهار نظر نکرده است (در این باره نک : سوئردلو، ص۴۱-۴۲) اما در ادامه آورده است که این فرضیه‌ها (مدل‌ها) باید تا حد ممکن بر واقعیت منطبق باشند یا به عبارت دیگر فرضیه‌ها پدیده‌ها را حفظ کنند (یا نجات دهند).[۱۸] اما آنچه در ادامه آمده است ردپای نوعی نظریهٔ فیزیکی در بارهٔ افلاک است.[۱۹]

منظور از نظریهٔ فیزیکی در اینجا آن است که نشانه‌هایی از آنچه در فیزیک ارسطویی در بارهٔ آسمان گفته می‌شده است در این عبارات می‌توان جستجو کرد. ارسطو در کتاب در بارهٔ آسمان آراء خود را در بارهٔ جنس آسمان آورده است. او عنصر تشکیل دهندهٔ آسمان را عنصر پنجمی می‌داند که هیچ ویژگی مشترکی با چهار عنصر دیگر ندارد. حرکت طبیعی این عنصر پنجم مستدیر و دائمی است و هیچ خللی در آن راه ندارد، از این رو تغییری در آسمان راه ندارد در حالی که عالم کون و فساد (عالم تحت قمر) محل تغییر است (در بارهٔ عنصر پنجم و ارتباط آن با جنس افلاک نک : قلندری، «ماهیت فیزیکی افلاک...»، سراسر مقاله). اینکه بطلمیوس می‌نویسد: «کدام دو چیز را می‌توان با هم مقایسه کرد، بی‌شباهت‌تر از موجودات جاودانه با موجودات تغییرپذیر» و در ادامه روشن می‌کند که منظور او از «موجودات جاودانه» اجرام آسمانی هستند این ادعا را تقویت می‌کند که به نظر بطلمیوس آسمان و قوانین حاکم بر آن با موجودات زمینی که تغییر در آنها راه دارد متفاوت است و این نظر با رأی فیزیک ارسطویی در این باره یکسان است.

تقریباً در جای دیگری از مجسطی نمی‌توان چنین صراحتی در کلام بطلمیوس دید که در آن در بارهٔ جنس آسمان و اجرام آسمانی سخن بگوید و آن را جدا از اجسام زمینی

---

۱۸. در بارهٔ این ادعای بطلمیوس بسیار نوشته‌اند. پیر دوئم در کتابی با عنوان
Sauver les apparences: Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée
احتمالاً برای نخستین بار به‌طور خاص به موضوع نجات پدیده‌ها نزد دانشمندان گذشته پرداخته است و در این بررسی به بطلمیوس نیز پرداخته است. گلدشتاین نیز در مقاله‌ای با عنوان « Saving the phenomena: the background to Ptolemy's planetary theory» در این باره صحبت کرده است (برای تفصیل بیشتر نک :گمینی، پی‌نوشت شمارهٔ ۱۳۰ فصل اول).

۱۹. مقایسه کنید در این باره با نویگباور (ص۲۱۷)؛ او تمهید بطلمیوس را برای توجیه حرکات عرض یک مدل مکانیکی می‌داند و می‌نویسد: «روشن است که بطلمیوس گمان نمی‌کرده است هیچ‌یک از این مدل‌ها واقعاً در طبیعت موجود باشند.» او همچنین معتقد است که نه در اینجا و نه در هیچ جای دیگری از مجسطی یک فرض فیزیکی مطابق با آنچه بعدها در نظریات کیهان‌شناسی طرح شدند، نمی‌توان یافت.

بداند و دائمی بودن آن و حرکت‌های موجود در آن را از ویژگی‌های آنها بشمارد. البته بطلمیوس در «مقدمات عمومی»[۲۰] در مقالهٔ نخست از مجسطی -بخش‌های سوم تا هفتم- نیز به مطالبی اشاره کرده بود که با بخشی از مطالب مقالهٔ دوم در بارهٔ آسمانِ ارسطو (بیشتر با مطالب فصل‌های چهارم، سیزدهم و چهاردهم) مشابهت دارند. در آنجا نیز بطلمیوس حداقل در موضوع اثبات کرویت آسمان به عنصری بودن آن اشاره کرده است (مجسطی، ص۴۰)[۲۱] و از مادهٔ آسمان، اثیر، نام می‌برد. او می‌نویسد:

> اثیر [که] مادهٔ همهٔ اجسام [آسمانی] است از اجزایی ساخته شده است که بسیار لطیف هستند و متشابه الأجزاء (عنصر) است. همهٔ اجسام متشابه الأجزاء سطوح متشابه الأجزاء دارند، تنها سطح متشابه الأجزاء در میان سطوحْ سطح مستدیر و در میان رویه‌های سه بعدی کره است. چون اثیر سطح نیست، بلکه [رویهٔ] سه بعدی است، در نتیجه کروی شکل است. به‌طور مشابه طبیعتْ همهٔ اجسام زمینی و فسادپذیر را [به صورت] مدور شکل داده است اما [آنها] متشابه الأجزاء نیستند[۲۲] در حالی که همهٔ اجسام اثیری و الهی[۲۳] کروی شکل هستند و متشابه الأجزاء... به این دلیل می‌توان پذیرفت اثیر که طبیعت آن با آنها (اجسام آسمانی) یکسان است و آنها را در بر گرفته نیز کروی شکل است و از آن رو که متشابه الأجزاء است، مستدیر و یکنواخت حرکت می‌کند.

---

20. "General preliminary discussion"

این مقدمات که در تحقیقات معاصر آنها را مقدمات طبیعی نجوم می‌خوانند عبارتند از: ۱. آسمان کروی است؛ ۲. زمین کروی است؛ ۳. زمین در میانهٔ عالم جای گرفته است؛ ۴. [اندازهٔ] زمین در برابر کل عالم همچون نقطه‌ای است؛ ۵. زمین حرکت نمی‌کند، نه در جای خود و نه جا به جا می‌شود. تطور این مقدمات در آثار پیروان بطلمیوس، به‌ویژه هیئت نویسان دورهٔ اسلامی نشان می‌دهد که یاد کردن از این مقدمات به مرور مهم‌تر شده است و شامل مطالب بیشتری از طبیعیات شده است (قلندری، مقدمه...، ص۶۲-۶۳، ۶۵-۶۶، ۶۸-۷۱).

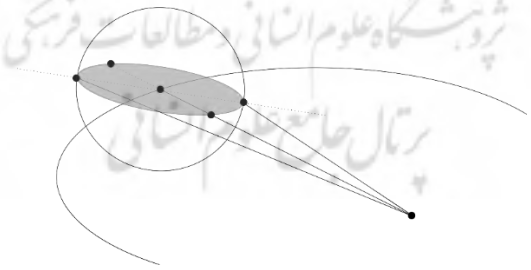
۲۱. بیشتر برهان‌هایی که در این بخش آمده‌اند بر پایهٔ مشاهده هستند و تنها در پایانِ اثبات کرویت آسمان بطلمیوس می‌نویسد: «همچنین می‌توان برهانی بر اساس ملاحظات فیزیکی، ارائه کرد» (ص۴۰) و سپس برهانش را این طور می‌آورد که مادهٔ آسمان، اثیر، عنصر است و عناصر طبعاً کروی شکل هستند. او در اینجا به تفاوت مادهٔ آسمان و دیگر عناصر اشاره نکرده است. این دسته‌بندی برهان‌ها به فیزیکی (نظر طبیعی) و ریاضی (نظر تعلیمی) را در آثار هیئت دورهٔ اسلامی نیز می‌توان دید (برای نمونه نک : قلندری، مقدمه...، ص۸۴؛ خرقی، ص۱۵، ۲۰).

۲۲. به نظر می‌رسد بطلمیوس در اینجا تنها به اجسام مرکب اشاره کرده است زیرا عناصر اربعه نیز همگی کروی شکل هستند!

23. "divine"

هر چند در اینجا به عنصری بودن جنس آسمان اشاره شده است اما تأکیدی آن چنان که در عبارت مقالهٔ سیزدهم در بارهٔ تفاوت جنس موجودات آسمانی و زمینی آمده است، در اینجا نیامده است.

علاوه بر این، بطلمیوس در مقالهٔ سیزدهم در بارهٔ حرکت‌های اجسام آسمانی نوشته است که امری مانع حرکت آنها نمی‌شود و این مانع نشدن نه تنها در بارهٔ دایره‌هایی که برای حرکت سیارات در نظر گرفته است، صادق است بلکه کره‌های آنها نیز چنین خاصیتی دارند. با کنار هم گذاشتن این دو ویژگی، یعنی تغییر ناپذیر بودن و وجود حرکت دائمی، این کره‌ها را می‌توانیم همان افلاک سیارات در نظر بگیریم. افلاکی که بطلمیوس از آنها سخن می‌گوید، به راحتی می‌توانند درون یکدیگر حرکت کنند، اتفاقی که به نظر او برای اجسام زمینی قابل تصور هم نیست. احتمالاً منظور از حرکت آسان، حرکت بدون اصطکاک است که مطابق فیزیک ارسطویی فقط برای عنصر پنجم ممکن است. به هر صورت به نظر می‌آید بر اساس بخش‌هایی از این بند از مجسطی می‌توان گفت که شاید طرحی از آن الگوی فیزیکی که بطلمیوس آن را بعدها در الاقتصاص آورده است، پیش‌تر در ذهن او بوده است. به‌طور دقیق‌تر افلاک مورد نظر بطلمیوس، در مسألهٔ عرض چیزی شبیه به شکل۱۰ هستند: در این حالت، تدویر، یک کره در نظر گرفته می‌شود که مرکز آن بر روی محیط دایرهٔ حامل است. در توضیح آنکه بطلمیوس می‌گوید این اجسام در آسمان می‌توانند بدون هیچ مانعی درون یکدیگر حرکت کنند، می‌توان چنین در نظر گرفت که گویی همواره قسمتی از دایرهٔ حامل، درون کرهٔ تدویر گرفتار است.[۲۴]



شکل۱۰. ساختار کمابیش مجسم فلک تدویر در مدل عرض در مجسطی

۲۴. این طرح با آنچه بعدها به عنوان مدل افلاک مجسم شناخته می‌شود بسیار متفاوت است. در اینجا هنوز از عبارت بطلمیوس برنمی‌آید که همهٔ دایره‌ها در یک مدل سه بعدی، لزوماً به صورت کره در نظر گرفته می‌شوند.

تا پیش از این، بطلمیوس در جایی از مجسطی نیازی به وجود فلک با ساختار کروی ندارد. تمام مدل‌های سیاره‌ای او، با ساختار مدارهای دایره‌ای نیز امکان‌پذیر هستند. در مسألهٔ عرض، برای اولین بار چرخش قطرهای فلک تدویر، بر روی دایره‌های کوچکی که بطلمیوس می‌سازد، نیاز به یک فلک با ساختار کروی دارند که یکی از صفحات قطری آن، حرکت گردشی داشته باشد. به همین دلیل می‌توان گفت در این‌جا بطلمیوس به دلیل نیازی که در نظریه حس می‌کرده است، خود را نیازمند عرضهٔ ساختار سه بعدی دانسته است و چون این ساختار سه بعدی را بر اساس قواعد طبیعیات عرضه می‌کند، می‌توان گفت که طرحی از افلاک مجسم در اینجا به چشم می‌خورد.

تدوین این نظر در قالب یک مدل را در الاقتصاص می‌توان پیگیری کرد. بطلمیوس در بخش نخست از الاقتصاص در توضیح افلاک سیارات، چهار فلک هم‌مرکز به دور فلک تدویر برای هریک در نظر گرفته است (نک :گلدشتاین،[۲۵] ص۱۹ برای عطارد؛ ص۲۱ برای زهره؛ ص۲۲ برای مریخ؛ ص۲۳-۲۴ برای مشتری؛ ص۲۵ برای زحل). برای نمونه در توضیح افلاک تدویر عطارد چنین آورده است:

۱. مرکز فلک تدویر بر گرد نقطه‌ای از آن دو نقطه (منظور آن دو نقطه‌ای است که روی قطر فلک مایل در نظر گرفته شده‌اند) که به زمین نزدیک‌تر است، روی فلک خارج مرکز حرکت می‌کند؛[۲۶]

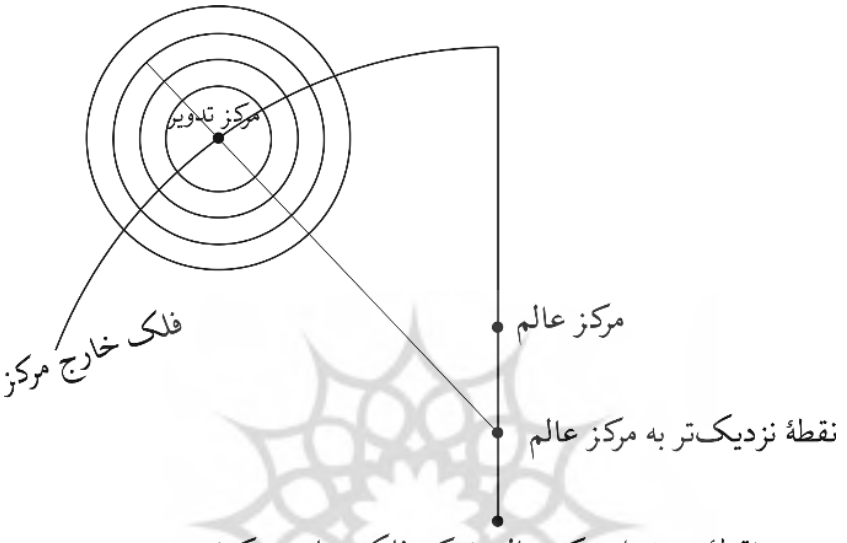
۲. کرهٔ کوچکی درون فلک تدویر و در صفحهٔ فلک مایل که مرکز آن همان مرکز فلک تدویر است و حرکت آن نیز مشابه حرکت فلک تدویر است. قطر این فلک که در امتداد نقطهٔ نزدیک‌تر به زمین است اوج و حضیض فلک تدویر را نشان می‌دهد؛

25. B. R. Goldstein

۲۶. او پیش از این ترتیب فلک‌های بزرگ‌تر را چنین آورده است: ۱) فلک موافق مرکزی که بر توالی بروج حرکت می‌کند و مقدار حرکت آن با حرکت ثوابت برابر است، ۲) فلک مایل موافق مرکزی که حرکتش با فلک نخستین یکی است و فقط با آن زاویه دارد، ۳) فلک خارج مرکزی که خلاف توالی بروج به اندازهٔ تفاوت مقدار حرکت خورشید از ثوابت حرکت می‌کند. او برای تعیین مرکز فلک خارج مرکز می‌گوید که روی قطر گذرنده از منتهای شمالی و جنوبی فلک مایل دو نقطه به سمت منتهای جنوبی در نظر می‌گیریم، نقطهٔ دورتر مرکز فلک خارج مرکز است. فاصلهٔ مرکز فلک البروج از نقطهٔ نزدیک‌تر ۳ جزء است و از نقطهٔ دورتر ۵;۳۰ (گلدشتاین، ص۱۸-۱۹).

۳. فلک دیگری در همان صفحه و همان مرکز که مقدار حرکت آن برابر با حرکت خارج مرکز است؛

۴. فلک چهارمی که مرکزش همان است و نسبت به فلک سوم زاویه‌ای دارد.[۲۷]



شکل۱۱. ساختار فلک‌های تدویر در الاقتصاص

بطلمیوس این ترتیبِ فلک‌های تدویر را برای سیارات دیگر نیز آورده است و در همهٔ آنها موقعیت‌های فلک‌های تدویر به همین صورت است و البته فلک‌های بزرگ‌تر او نیز برای سیارات در مقالهٔ اول الاقتصاص مشابه هستند.

سوئردلو با بررسی مقادیر مختلف عرض در آثار بطلمیوس معتقد است که در مجسطی، جدول‌های آسان و الاقتصاص، فرضیهٔ عرض گام به گام اصلاح می‌شود و با توجه به تغییر مقادیر عرض، می‌توان ترتیبِ نوشته شدن این آثار را نیز به همین ترتیب دانست (سوئردلو، ص۶۷-۶۸). بر این اساس به نظر می‌رسد چنین نتیجه‌ای را برای

۲۷. مقدارهایی که بطلمیوس برای این زاویه در الاقتصاص آورده است به مقدارهایی که برای عرض اول سیارات در مجسطی آورده بود نزدیک هستند (نک : سوئردلو، ص۶۸؛ البته مقداری که سوئردلو برای عرض مریخ آورده است با آنچه در متن الاقتصاص (ص۲۲) آمده متفاوت است. مقدار این زاویه برای مریخ در الاقتصاص ۴;۵۰ آمده است اما سوئردلو (همان‌جا) ۱;۵۰ گزارش کرده است!)

مدل‌های مجسم عرض نیز بتوان گفت، بطلمیوس در الاقتصاص خواسته است طرحی را برای آنچه در مجسطی در بارهٔ ساختار فیزیکی این فلک‌ها گفته بود به‌دست دهد و البته آنها را با مقدارهای تازه‌ای که در الاقتصاص عرضه می‌کند تطبیق داده است.

امروز می‌دانیم که تلاش به‌منظور عرضهٔ تبیینی برای حرکت‌های عرضی سیارات در دورهٔ اسلامی نیز رواج داشته است اما به‌نظر می‌رسد روش بطلمیوس از همان آغاز روش مطلوبی نبوده است. ابن هیثم در الشکوک علی بطلمیوس و در آوردن اشکالات بر الاقتصاص مسألهٔ افزودن چند فلک به کرهٔ تدویر را به کلی از مسألهٔ فلک‌های سیارات جدا کرده است. او در اشکال اول که در آن به نابرابری تعداد فلک‌های الاقتصاص و حرکات مجسطی اشاره می‌کند تعداد فلک‌های تدویر هر سیاره را همان یک فلک تدویر در نظر گرفته و در اشکال دوم تمهید بطلمیوس را برای رفع مشکل عرض ناکافی دانسته است (ابن هیثم، ص۴۲-۴۴).

نتیجه

بطلمیوس در ساخت مدلی برای توضیح عرض سیارات، برای اولین بار مجبور می‌شود میان اجزای مدل زاویه ایجاد کند یا به عبارت دیگر اجزای مختلف را نسبت به یکدیگر متمایل کند. او برای سیارات خارجی دو میل و برای سیارات داخلی سه میل در نظر می‌گیرد. در هر کدام از این دو دسته یک عرض به سبب زاویهٔ دایرهٔ خارج مرکز (حامل) نسبت به دایرةالبروج ایجاد می‌شود و عرض دیگر به سبب میل تدویر نسبت به دایرهٔ حامل. بطلمیوس برای توضیح این میل اخیر تصور می‌کند که قطرهای تدویر روی دایره‌هایی کوچک،می‌گردند؛ اما چگونه؟ توضیحات او چیزی راجع به ساختار اجرام آسمانی به ما نمی‌گوید، و تنها در توضیح این نکته هستند که نبایستی انتظار داشته باشیم اجسام آسمانی نیز مانند اجسام زمینی از قوانین حاکم بر اجسام زمینی پیروی کنند. او حتی آنها را به صورت کره‌هایی درون یکدیگر تصور نمی‌کند، بلکه با در نظر گرفتن ساختاری سه بعدی برای تدویر و ساختاری دوبعدی برای خارج مرکز، تدویر را به مانند یک کره که از میان صفحهٔ خارج مرکز حرکت می‌کند، متصور می‌شود. لازم است بدانیم که اگر سیارات عرض دایرةالبروجی نداشتند، تمامی حرکات سیارات با دایره‌هایی ساده که مدارهایی بر روی یک صفحه بودند قابل تبیین بودند. این مقدار اندک انحراف سیارات از روی خط دایرةالبروج باعث ساخت موجوداتی سه‌بعدی می‌شود.

به‌نظر می‌رسد با توجه به همین بند از مجسطی می‌توان گفت که بطلمیوس به این نکته که مدل او به سادگی قابل پذیرش نیستْ واقف است، اما چاره را در مستثنی دانستن حرکت‌های موجود در آسمان از قوانین موجود برای حرکت اجسام زمینی می‌داند. مسألهٔ دیگر این است که در هنگام توضیح عرض سیارات، مواردی بدون پاسخ رها می‌شوند، به عنوان مثال در مدل طول سیاره‌ای دایرهٔ حامل را یک دایرهٔ خارج از مرکز در نظر گرفته است، اما در مدل عرض، مرکز آن دوباره به مرکز عالم باز می‌گردد و زاویه‌ها نسبت به مرکز عالم محاسبه می‌شوند. علاوه بر ایرادات در ساخت مدل، مقادیر محاسباتی حاصل از این مدل نیز چندان دقیق نیستند. او در آثار بعدی خود، به‌ویژه الاقتصاص، تلاش کرده است تا هر دو اشکال را مرتفع کند، هم توضیحی در بارهٔ ساختار سه‌بعدی فلک‌ها بدهد هم مقدارهای آنها را اصلاح کند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

ابن هیثم. (۱۹۷۱م). الشکوک علی بطلمیوس. تحقیق عبدالحمید صبره و نبیل الشهابی. حلب: دار الکتب.

امینی، حسن. (۱۳۸۷ش). الرسالة المعینیة خواجه نصیرالدین طوسی: تصحیح و تحقیق. پایان‌نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ تاریخ علم. پژوهشکدهٔ تاریخ علم دانشگاه تهران.

خرقی، ابومحمد عبدالجبار. (۱۳۹۹ش). منتهی الإدراک فی تقاسیم الأفلاک. تصحیح، ترجمه و پژوهش حنیف قلندری. زیر نظر حسین معصومی همدانی. تهران: میراث مکتوب.

قلندری، حنیف. (۱۳۹۰ش). «ماهیت فیزیکی افلاک: بررسی مفهوم فلک در آثار هیئت.» تاریخ علم، ۹ (۱)، شمارهٔ پیاپی: ۱۰. ص۶۷-۱۰۸.

ـــــــ . (۱۳۹۹ش). مقدمه بر منتهی الإدراک فی تقاسیم الأفلاک. نک : خرقی.

گمینی، امیرمحمد. (۱۳۹۵ش). دایره‌های مینایی، پژوهشی در تاریخ کیهان‌شناسی در تمدن اسلامی. تهران: حکمت سینا.

معصومی همدانی، حسین. (۱۳۸۳ش). «بطلمیوس؛ تکملهٔ۱- الاقتصاص.» دائرةالمعارف بزرگ اسلامی، ج۱۲. تهران: مرکز دائرةالمعارف بزرگ اسلامی.

یاوری، مصطفی. (۱۳۹۷ش). بررسی عرض دایرةالبروجی سیارات در زیج الغبیگ. پایان‌نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ تاریخ علم. پژوهشکدهٔ تاریخ علم دانشگاه تهران.

Goldstein, B. R. (1967). "The Arabic Version of Ptolemy's Planetary Hypothesis." *Transaction of the American Philosophical Society*. vol.LVII (part4).

Neugebauer, O. (1975). *A History of Ancient Mathematical Astronomy*. Springer-Verlag.

Pedersen, O., & Jones, A. (2010). *A Survey of the Almagest: With Annotation and New Commentary by Alexander Jones*. Springer New York.

Ptolemy. (1984). *Almagest*. Translated and annotated by G. J. Toomer. Princeton University Press.

Swerdlow, N.M. (2005). "Ptolemy's Theories of the Latitude of the Planets in the *Almagest*, *Handy Tables*, and *Planetary Hypotheses*." *Wrong for the Right Reasons*. Ed. by Jed Z. Buchwald & Allan Franklin. Springer.