



دوفصلنامه تاریخ علوم و فناوری دوره اسلامی
سال دوازدهم، شماره‌های اول و دوم، سال ۱۴۰۲
شماره پیاپی: ۲۳ و ۲۴

صاحب امتیاز: مؤسسه پژوهشی میراث مکتوب
مدیر مسئول: اکبر ایرانی
سردبیر: محمد باقری
مدیر داخلی: زینب کریمیان
اجرای جلد: محمود خانی

مدیر فنی و امور چاپ: حسین شامولوفرد

همکاران علمی

حسن امینی * حمید بهلول * پویان رضوانی * فاطمه سوادی * حنیف قلندری * یونس کرامتی * امیرمحمد گمینی
شمامه محمدی‌فر * راضیه‌سادات موسوی * یونس مهدوی * سجاد نیکفهم خوب‌روان

مشاوران علمی

یوسف ثبوتی * توفیق حیدرزاده
محمدابراهیم ذاکر * حسن طارمی * مهدی محقق
حسین معصومی‌همدانی * محمدجواد ناطق * سیدحسین نصر
علی بابایف (جمهوری آذربایجان) * جان لنارت برگرن (کانادا) * گلن وان بروملن (کانادا) * احمد جبار (فرانسه)
سرگی دمیدوف (روسیه) * رشدی راشد (فرانسه) * جمیل رجب (کانادا) * سری‌رامولا سارما (آلمان)
ژاک سزینانو (سوئیس) * جورج صلیبا (امریکا) * حکیم سید ظل‌الرحمان (هند) * رادا چاران گوپتا (هند)
مصطفی موالدی (سوریه) * یان پیتر هوخندایک (هلند) * میچیو یانو (ژاپن)

تصویر پشت جلد: روش ترسیم گونیاهاى مختلف، نسخه خطی ۵۰۹۴۴ کتابخانه آستان قدس رضوی (برگ ۳۱ر).

نشانی مجله: تهران، خیابان انقلاب اسلامی، بین خیابان دانشگاه و ابوریحان، ساختمان فروردین، شماره ۱۱۸۲، طبقه چهارم، شماره ۱۶
کد پستی: ۹۳۵۱۹-۱۳۱۵۶ تلفن: ۶۶۴۹۰۶۱۲ دوزنگار: ۶۶۴۰۶۲۵۸

www.mirasmaktoob.ir
miraselmi@mirasmaktoob.ir / miraselmi90@gmail.com
بها: ۶۰۰۰۰ تومان



فهرست

۱ | سر سخن

مقاله

- ۳ | از سمرقند به هرات
حسن امینی
- ۱۳ | رده‌بندی گیاهان و جایگاه این علم در متون ایران باستان
و منابع طبقه‌بندی علوم دوره اسلامی
شمامه محمدی‌فر
- ۲۴ | جورج سارتون و محمود حسایی در یک قاب
توفیق حیدرزاده
- ۳۱ | بررسی تاریخ علم و فناوری در آثار ادبی، سفرنامه‌ها،
و سایر متن‌های نامرتبط
محمدجواد ناطق
- ۴۰ | نظریهٔ اختلاف منظر در نجوم دوره اسلامی
ای. اس. کیدی، ترجمهٔ سجاد نیک‌فهم خوب‌روان
- ۶۸ | جغرافیا و نقشه‌نگاری در تمدن اسلامی تا سال ۷۰۰ قمری
مایکل بانر، ترجمهٔ مجید همراه
- ۸۴ | مثلثات کاشانی در زیج خاقانی
جواد همدانی‌زاده، ترجمهٔ مهسا راقب
- ۹۴ | آغاز کاربرد فارسی به عنوان زبان علم
حسین کمالی، ترجمهٔ افسانه منفرد
- ۱۰۲ | مقدمهٔ الجواهر فی الجواهر بیرونی
سامی خلف حمارنه، ترجمهٔ علیرضا باقر

معرفی کتاب

- ۱۲۸ | کتابی جامع در هیئت برای پادشه‌زادهٔ ایران: تصحیح و ترجمهٔ
انگلیسی رسالهٔ معینیه و حل اشکالات آن نوشتهٔ نصیرالدین
طوسی
امیرمحمد گمینی
- ۱۳۸ | اختیارات مظفری
حنیف قلندری

معرفی فیلم مستند

- ۱۴۱ | چیزهایی که زمان با خود برد
امیرمحمد گمینی

رسائل

- ۱۴۸ | رساله‌ای فارسی در هندسهٔ عملی
نرگس عصارزادگان



نظریهٔ اختلاف منظر در نجوم دورهٔ اسلامی

ادوارد استوارت کندی^۱

ترجمهٔ سجاد نیک‌فهم خوب‌روان^۲

۱. مقدمه

مقالهٔ حاضر، چنان‌که از عنوانش پیداست، پژوهشی است در منابع در دسترس در مورد نظریهٔ اختلاف منظر، آن چنان‌که توسط منجمان شرق نزدیک، خاورمیانه و اسپانیا از قرن دوم تا نهم هجری به کار می‌رفت. تا جایی که مؤلف می‌داند، این موضوع در چهل و اندی سال اخیر بررسی نشده و پیش از آن نیز تنها به صورت حاشیه‌ای مطرح شده‌است. اما اختلاف منظر موضوع روز منجمان سده‌های میانه بود که باید اختلاف منظر خورشید و ماه را در محاسبهٔ گرفت‌های خورشید در نظر می‌گرفتند. این موضوع برای مورخان ریاضیات نیز جالب است زیرا محاسبهٔ اختلاف منظر در ارتفاع و تفکیک آن به مؤلفه‌های مربوطه مستلزم به‌کارگیری مثلثات است. خواهیم دید که نظریه‌ای معتبر که منشأ یونانی داشت، با استفاده از نظریهٔ سینوس‌ها که توسط مسلمانان ابداع شده بود، از بیانی ظریف برخوردار شد و بر نظریهٔ هندی رقیب فائق آمد. هدف این مطالعه در ابتدا خیلی محدودتر از آنی بود که در بالا به آن اشاره شد. مؤلف تنها قصد داشت محاسبات منتج به یک جدول عددی در دست‌نوشته‌ای فارسی را بازسازی کند (منبع [E]).^۳ این نسخه دربرگیرندهٔ شرح مؤلفی ناشناس از یک ابزار محاسباتی نجومی است که توسط غیاث‌الدین جمشید کاشانی (د. ۸۳۲) ابداع شد.^۴ این که هنوز مقصود ابتدایی و محدود ما تا حد زیادی محقق نشده‌است نتایج جانبی این جستجوها را منتفی نمی‌کند.

رونویسی اعداد این جدول (با اصلاحاتی که در زیر خواهد آمد) به صورت اعداد برجسته در جدول ترکیبی زیر (جدول ۱) آمده است. این اعداد مؤلفه‌های طولی و عرضی اختلاف منظر هستند

۱. استاد پیشین دانشگاه براون؛ مؤسسه مطالعات پیشرفته دانشگاه پرینستون و دانشگاه آمریکایی بیروت. متن حاضر ترجمهٔ مقالهٔ زیر است: E. S. Kennedy, "Parallax Theory in Islamic Astronomy", *Isis*, vol. 47, no. 1 (March 1956), pp. 33-53.

۲. پژوهشگر پسادکتری تاریخ علم، snikfahm@gmail.com

۳. برای منابع به فهرست پایان مقاله نگاه کنید.

۴. برای توصیف این ابزار و منابع دربارهٔ زندگی و آثار کاشانی به منابع شماره ۶، ۷، ۹ و ۱۰ مراجعه کنید.



که در حقیقت اصلاحات کوچکی هستند در مختصات زمین مرکزی یک مقارنه مفروض خورشید و ماه ناشی از این که به جای مرکز زمین از یک نقطه روی سطح زمین به آن نگریسته شود. هر جفت عدد به یک مقارنه مربوط می شود که در تعدادی صحیح از ساعات مشخص قبل، بعد، یا در نصف النهار محل، و در نقطه آغازین یکی از دوازده برج رخ می دهد. تقارن موجود در جدول به ما اجازه می دهد که از یک ستون برای دو برجی که از یک انقلاب به یک فاصله هستند استفاده کنیم. بنابراین ستون دوم از راست برای هر دو برج اسد و جوزا به کار می رود، به شرط آن که ساعات برای اولی از بالا و برای دومی از پایین جدول خوانده شود.

		سرطان		اسد		سنبله		میزان		عقرب		قوس		جدی	
		P_β	P_λ	P_β	P_λ	P_β	P_λ	P_β	P_λ	P_β	P_λ	P_β	P_λ	P_β	P_λ
۷	الغ بیگ	۲۸;۰	۴۳;۴												
	تئون	۲۸	۴۳												
	کاشانی	۲۸	۵۰	۵۴	۲۰	۵۷	۹								
	سوریا...														
	خوارزمی														
	الغ بیگ	۴۴;۳۶	۲۳;۳۷	۴۸;۴۲	۱۴;۶	۵۰;۵۳	۷;۵۲	۵۱;۲	۵;۴۹						
	تئون	۴۴	۲۳	۴۸	۱۴	۵۱	۸	۵۱	۶						
	کاشانی	۵۰	۲۷	۵۴	۱۸	۵۷	۹	۵۶	۴	۵۷	۶	۵۴	۱۲		
	سوریا...	۴۲;۲۹	۲۲;۲۳												
	خوارزمی	۴۷													
۶	الغ بیگ	۴۳;۱۵	۱۹;۵	۴۶;۳۳	۱۰;۳۶	۴۸;۳۱	۶;۱۷	۴۹;۴۸	۶;۲۶	۴۹;۵۸	۱۰;۳۴	۴۷;۵۳	۱۸;۳۳	۴۴;۲	۲۶;۲۷
	تئون	۴۳	۱۹	۴۶	۱۱	۴۸	۶	۴۹	۷	۴۹	۱۰	۴۸	۱۹	۴۳	۲۸
	کاشانی	۵۰	۲۶	۵۳	۱۶	۵۶	۸	۵۵	۴	۵۷	۷	۵۴	۱۳	۵۳	۲۲
	سوریا...														
	خوارزمی														
	الغ بیگ	۳۸;۵۱	۱۴;۴۹	۴۳;۲۷ (?)	۸;۱۸	۴۳;۴۱	۵;۵۲	۴۵;۵۳	۸;۱۵	۴۶;۴۶	۱۳;۵۸	۴۴;۳۲	۲۲;۵۷	۳۸;۳۳	۳۲;۳۰
	تئون	۳۸	۱۵	۴۱	۸	۴۲	۶	۴۵	۸	۴۶	۱۴	۴۵	۲۳	۳۸	۳۲
	کاشانی	۴۹	۲۱	۵۱	۱۳	۵۴	۷	۵۵	۵	۵۶	۸	۵۴	۱۶	۵۰	۲۶
	سوریا...	۳۶;۳۶	۱۳;۴۴					۴۱;۱۰	۵;۱۷			۴۴;۱۳		۳۶;۳۲	۳۰;۵۸
	خوارزمی	۴۷						۴۸						۴۷	
۵	الغ بیگ	۴۳;۲۷	۱۴;۴۹	۴۸;۳۱	۶;۱۷	۴۹;۴۸	۶;۲۶	۴۹;۵۸	۱۰;۳۴	۴۷;۵۳	۱۸;۳۳	۴۴;۲	۲۶;۲۷	۳۸;۳۳	۳۲;۳۰
	تئون	۴۳	۱۹	۴۶	۱۱	۴۸	۶	۴۹	۷	۴۹	۱۰	۴۸	۱۹	۴۳	۲۸
	کاشانی	۵۰	۲۶	۵۳	۱۶	۵۶	۸	۵۵	۴	۵۷	۷	۵۴	۱۳	۵۳	۲۲
	سوریا...														
	خوارزمی														
	الغ بیگ	۳۸;۵۱	۱۴;۴۹	۴۳;۲۷ (?)	۸;۱۸	۴۳;۴۱	۵;۵۲	۴۵;۵۳	۸;۱۵	۴۶;۴۶	۱۳;۵۸	۴۴;۳۲	۲۲;۵۷	۳۸;۳۳	۳۲;۳۰
	تئون	۳۸	۱۵	۴۱	۸	۴۲	۶	۴۵	۸	۴۶	۱۴	۴۵	۲۳	۳۸	۳۲
	کاشانی	۴۹	۲۱	۵۱	۱۳	۵۴	۷	۵۵	۵	۵۶	۸	۵۴	۱۶	۵۰	۲۶
	سوریا...	۳۶;۳۶	۱۳;۴۴					۴۱;۱۰	۵;۱۷			۴۴;۱۳		۳۶;۳۲	۳۰;۵۸
	خوارزمی	۴۷						۴۸						۴۷	
۴	الغ بیگ	۳۸;۵۱	۱۴;۴۹	۴۳;۲۷	۸;۱۸	۴۳;۴۱	۵;۵۲	۴۵;۵۳	۸;۱۵	۴۶;۴۶	۱۳;۵۸	۴۴;۳۲	۲۲;۵۷	۳۸;۳۳	۳۲;۳۰
	تئون	۳۸	۱۵	۴۱	۸	۴۲	۶	۴۵	۸	۴۶	۱۴	۴۵	۲۳	۳۸	۳۲
	کاشانی	۴۹	۲۱	۵۱	۱۳	۵۴	۷	۵۵	۵	۵۶	۸	۵۴	۱۶	۵۰	۲۶
	سوریا...	۳۶;۳۶	۱۳;۴۴					۴۱;۱۰	۵;۱۷			۴۴;۱۳		۳۶;۳۲	۳۰;۵۸
	خوارزمی	۴۷						۴۸						۴۷	
	الغ بیگ	۳۸;۵۱	۱۴;۴۹	۴۳;۲۷	۸;۱۸	۴۳;۴۱	۵;۵۲	۴۵;۵۳	۸;۱۵	۴۶;۴۶	۱۳;۵۸	۴۴;۳۲	۲۲;۵۷	۳۸;۳۳	۳۲;۳۰
	تئون	۳۸	۱۵	۴۱	۸	۴۲	۶	۴۵	۸	۴۶	۱۴	۴۵	۲۳	۳۸	۳۲
	کاشانی	۴۹	۲۱	۵۱	۱۳	۵۴	۷	۵۵	۵	۵۶	۸	۵۴	۱۶	۵۰	۲۶
	سوریا...	۳۶;۳۶	۱۳;۴۴					۴۱;۱۰	۵;۱۷			۴۴;۱۳		۳۶;۳۲	۳۰;۵۸
	خوارزمی	۴۷						۴۸						۴۷	

۳۶;۱۹	۳۱;۳۹	۲۷;۴۰	۳۸;۲۵	۱۷;۵۵	۴۱;۵	۱۱;۶	۳۹;۲۶	۶;۴۰	۳۶;۲۸	۶;۱۹	۳۳;۵۷	۱۱;۸	۳۱;۴۹	الغ بیگ	۳	برکات برج المذنب (دانش) - سادات مبدعین (از صنف المذنب)
۳۶	۳۱	۲۸	۳۸	۱۸	۴۰	۱۱	۳۹	۷	۳۵	۶	۳۳	۱۱	۳۱	تئون		
۳۰	۴۵	۲۰	۵۳	۱۰	۵۴	۶	۵۴	۶	۴۸	۹	۴۷	۱۶	۴۴	کاشانی		
														سوریا...		
														خوارزمی	۲	
۳۹;۱۳	۲۲;۲۵	۳۲;۵	۲۹;۵۵	۲۳;۷	۳۲;۴۲	۱۴;۴۳	۲۷;۵۸ (?)	۸;۳۸	۲۷;۱۹	۵;۵۴	۲۴;۲۲	۸;۱۸	۲۲;۳۲	الغ بیگ		
۳۹	۲۲	۳۲	۳۰	۲۳	۳۳	۱۴	۳۱	۸	۲۷	۶	۲۴	۸	۲۲	تئون		
۳۵	۳۶	۲۶	۴۵	۱۵	۴۸	۸	۴۷	۶	۴۰	۷	۳۶	۱۱	۳۴	کاشانی		
۳۷;۵	۲۱;۷			۲۱;۴۰	۳۲;۱۷			۷;۵۲	۲۵;۳۴			۷;۲۵	۲۱;۷	سوریا...	۱	
	۴۴				۴۴				۳۷				۳۴	خوارزمی		
۴۱;۱	۱۱;۳۶	۳۵;۵۶	۱۹;۴۰	۲۷;۴۸	۲۲;۵۵	۱۹;۱۲	۲۱;۵	۱۱;۳۸	۱۳;۵۱ (?)	۶;۴۲	۱۳;۲۳	۶;۳۱	۱۱;۴۰	الغ بیگ		
۴۱	۱۱	۳۶	۱۹	۲۸	۲۳	۱۹	۲۱	۱۱	۱۷	۷	۱۳	۷	۱۱	تئون		
۳۸	۲۰	۳۱	۳۴	۲۲	۳۸	۱۳	۳۴	۸	۲۵	۶	۲۱	۷	۱۹	کاشانی	۰	
														سوریا...		
														خوارزمی		
۴۱;۳۹	۰;۰	۳۸;۵۷	۸;۲۱	۳۲;۱۲	۱۲;۸	۲۳;۵۱	۱۰;۲۳	۱۵;۲۷	۵;۴۹	۸;۴۱	۱;۵۲	۵;۵۵	۰	الغ بیگ		
۴۲	۰	۳۹	۸	۳۲	۱۲	۲۴	۱۱	۱۵	۶	۹	۲	۶	۰	تئون	۰	
۴۱	۰	۳۷	۱۵	۲۹	۱۷	۲۰	۱۶	۱۴	۸	۸	۴	۵	۰	کاشانی		
۳۹;۲۵	۰;۰			۳۰;۱۸	۱۱;۳۱			۱۴;۱۷	۵;۳۰			۳;۳۲	۰;۰	سوریا...		
	۰				۲۲				۹				۰	خوارزمی		
۴۱;۱	۱۱;۳۶	۴۰;۵۱	۲;۵۹	۳۶;۱	۱;۷	۲۸;۳۱	۰;۱۹	۱۹;۵۲	۵;۰	۱۱;۳۹	۹;۲۴	۶;۳۱	۱۱;۴۰	الغ بیگ	۱	
۴۱	۱۱	۴۱	۳	۳۶	۱	۲۸	۰	۲۰	۵	۱۱	۹	۷	۱۱	تئون		
۳۸	۲۰	۴۰	۶	۳۶	۰	۲۸	۰	۲۰	۷	۱۲	۱۴	۷	۱۹	کاشانی		
														سوریا...		
														خوارزمی	۲	
۳۹;۱۳	۲۲;۲۵	۴۱;۳۶	۱۳;۵۴	۳۸;۵۷	۹;۲۰	۳۲;۵۰	۱۰;۱۶	۲۴;۳۱	۱۴;۵۰	۱۵;۲۹	۱۹;۴۳	۸;۱۸	۲۲;۳۲	الغ بیگ		
۳۹	۲۲	۴۲	۱۴	۳۹	۹	۳۳	۱۰	۲۴	۱۴	۱۶	۲۰	۸	۲۱	تئون		
۳۵	۳۶	۴۰	۲۳	۳۷	۱۵	۳۵	۱۵	۲۶	۲۱	۱۹	۲۹	۱۱	۳۴	کاشانی		
۳۷;۵	۲۱;۷					۳۶;۴۳	۸;۲۴	۲۲;۵۹	۱۵;۳۶			۷;۲۵	۲۱;۷	سوریا...	۳	
	۴۴						۲۰		۲۶				۳۴	خوارزمی		
۳۶;۱۹	۳۱;۳۹	۴۱;۷	۲۳;۲۷	۴۰;۳۴	۱۹;۳	۳۶;۲۵	۱۸;۴۶	۲۹;۴	۲۳;۰	۱۹;۵۱	۲۸;۱۵	۱۱;۸	۳۱;۴۹	الغ بیگ		
۳۶	۳۱	۴۱	۲۳	۴۰	۱۸	۳۷	۱۸	۲۹	۲۲	۲۰	۲۸	۱۱	۳۱	تئون		





کاشانی	۴۴	۱۶	۳۸	۲۴	۲۹	۳۲	۲۶	۳۹	۲۷	۳۸	۳۶	۳۹	۴۵	۳۰
سوریا...														
خوارزمی														
الغ بیگ	۳۸:۵۱	۱۴:۴۹	۳۴:۲۷	۲۵:۳۶	۲۸:۲۸	۳۳:۱۴	۲۵:۱۵	۳۹:۱۱	۲۵:۵۶	۴۱:۵۲	۳۰:۵۹	۳۹:۲۲	۳۸:۳۸	۳۲:۳۰
تئون	۳۸	۱۵	۳۴	۲۴	۲۸	۳۳	۲۵	۳۹	۲۵	۴۱	۳۰	۴۰	۳۸	۳۲
کاشانی	۴۹	۲۱	۳۹	۲۹	۳۴	۳۶	۳۳	۴۰	۳۴	۳۸	۴۱	۳۶	۵۰	۲۶
سوریا...	۳۶:۳۶	۱۳:۴۴			۲۶:۴۱	۳۱:۳۰			۲۴:۷	۳۹:۲۲			۳۶:۳۲	۳۰:۵۸
خوارزمی	۴۷				۴۲				۴۸				۴۷	
الغ بیگ	۴۳:۱۵	۱۹:۵	۳۷:۵۷	۲۸:۵۹	۳۲:۱۸	۳۶:۴۴	۲۹:۱۵	۴۰:۴۹	۳۰:۳۴	۴۰:۵۲	۳۵:۵۱	۳۶:۴۶	۴۴:۲	۲۶:۲۷
تئون	۴۳	۱۹	۳۷	۲۹	۳۲	۳۶	۲۹	۴۱	۲۹	۴۰	۳۵	۳۷	۴۳	۲۸
کاشانی	۵۰	۲۶	۴۱	۳۳	۳۵	۳۸	۳۴	۴۱	۳۵	۳۹	۴۲	۳۴	۵۳	۲۲
سوریا...														
خوارزمی														
الغ بیگ	۴۴:۳۶	۲۳:۳۷	۳۸:۲۷	۳۳:۳	۳۲:۴۸	۳۹:۱۵								
تئون	۴۴	۲۳	۳۷	۳۳	۳۲	۴۰	۳۰	۴۱						
کاشانی	۵۰	۲۷	۴۲	۳۵	۳۶	۳۹	۳۴	۴۲	۳۶	۳۹	۴۲	۳۳		
سوریا...	۴۲:۲۹	۲۲:۲۳												
خوارزمی	۴۷													
الغ بیگ	۴۳:۴	۲۸:۵												
تئون	۴۳	۲۸												
کاشانی	۵۰	۲۸	۴۲	۳۶	۳۶	۴۰								
سوریا...														
خوارزمی														
سرطان														
جوزا														
ثور														
حمل														
حوت														
دلو														
جدی														

جدول ۱

در جستجوی منبع این جدول طبیعی بود که ابتدا نگاهی به مهم‌ترین اثر کاشانی، زیج خاقانی بیاندازم.^۱ این اثر کاشانی کتابی نجومی از دسته زیج‌های دوره اسلامی است که همه در سنت

۱. این اثر در دو نسخه شناخته شده است: یک نسخه در مجموعه دیوان هند کتابخانه بریتانیا (منبع [A])، و دیگری در مجموعه ایاصوفیه در استانبول (منبع [B]). مؤلف حاضر ترجمه‌ای انگلیسی از این اثر به عنوان مقدمه تصحیح انتقادی متن آن فراهم آورده است. در این مقاله ارجاعات به شماره برگ مربوط به منبع [A] است. (علاوه بر این دو نسخه، سه نسخه دیگر از زیج خاقانی در کتابخانه‌های ایران یافته شده است. متأسفانه پرفسور کندی موفق به تکمیل تصحیح انتقادی و ترجمه انگلیسی این اثر نشد، اما خلاصه‌ای از زیج خاقانی را به انگلیسی منتشر کرد. مترجم).

مستقیم مجسطی و جداول مفید بطلمیوس و تتون بوده‌اند. این تدبیر دست‌کم در ظاهر موفقیت‌آمیز بوده است، چراکه در نیمه پایینی برگ ۱۶۴ پ‌زیج خاقانی نسخه کتابخانه بریتانیا همین جدول با اختلافاتی جزئی دیده می‌شود. عنوان این جدول در زیج خاقانی این اطلاع اضافی را هم می‌دهد که برای عرض جغرافیایی 30° محاسبه شده است. در نیمه بالایی همان برگ، طرح جدول مشابهی ترسیم شده است که براساس عنوان برای عرض 20° بوده است. اما عددی در آن وارد نشده است. برگ بعدی، ۱۶۵، نیز طرح جداول خالی برای عرض‌های 40° و 50° دارد. جداول مشابه در نسخه دیگر زیج خاقانی در کتابخانه ایاصوفیه (منبع [B]) نیز سفید مانده است.

بعد از یافتن جدول، گام بعدی جستجو در متن زیج برای یافتن بحث نظری مبنای محاسبه چنین جداولی بود. این کار نیز موفقیت‌آمیز بود. در ادامه در بخش‌های دوم و سوم مقاله، نظریه اختلاف منظر چنان‌که در زیج خاقانی شرح داده شده عرضه می‌شود. در بخش چهارم مقاله، گریزی به مقایسه روش‌های مثلثاتی یونانی و اسلامی زده‌ایم. در بخش پنجم، با نشان دادن این‌که جداول اختلاف منظر کاشانی مطابق نظریه‌اش نیست، به بررسی جداول دقیق حامی او الغ‌بیگ می‌پردازیم، و در بخش ششم نشان می‌دهیم که دومی به جداول یونانی تتون نزدیک است که قرن‌ها پیش از آن تألیف شده بود. در بخش‌های هفتم تا دهم اختلاف منظر در سایر زیج‌ها بررسی شده است. باقی مقاله به عرضه نظریه اختلاف منظر هندی و یک نظریه مرتبط دیگر، البته با دقت بسیار پایین‌تر، اختصاص یافته است که توسط خوارزمی و سایر منجمان ابتدای دوره اسلامی به کار می‌رفت.

۲. اختلاف منظر قمر در دایره ارتفاع

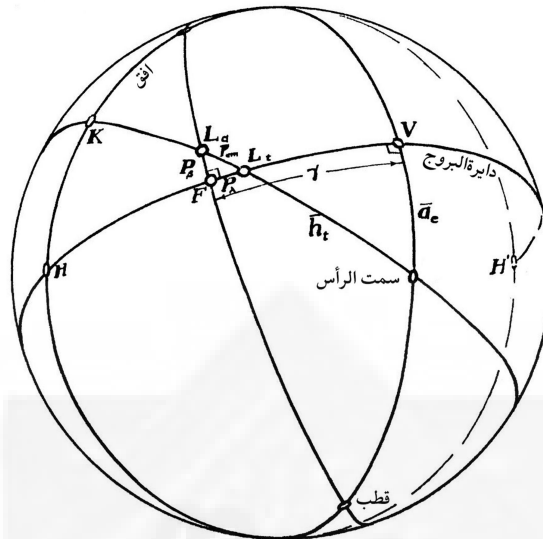
در شکل ۱، M و S به ترتیب مرکز ماه و خورشید را نشان می‌دهد. O محل ناظر بر روی سطح زمین E است. به پیروی از سنت باستان، شعاع زمین، OE، را برابر یک می‌گیریم و آن را به عنوان واحدی برای اندازه‌گیری فاصله سیارات به کار می‌بریم. زوایای h_t و h_a به ترتیب ارتفاع حقیقی و ظاهری ماه، و اختلاف آنها، P_m ، اختلاف منظر ماه را نشان می‌دهند. به همین ترتیب، P_s اختلاف منظر خورشید است. توجه داشته باشید که اختلاف منظر همیشه به سمت پایین است، یعنی موقعیت ظاهری یک جرم سماوی همیشه پایین‌تر از مکان حقیقی آن است، و بر روی کره سماوی هر دو در طول یک دایره عظیمه می‌افتند که از سمت الرأس ناظر می‌گذرد.

برای وقوع خورشیدگرفتگی لازم است که نقاط O، M و S در یک راستا قرار بگیرند یا خیلی نزدیک به این حالت باشند. تفاوت میان دو اختلاف منظر، $P_{am} = P_m - P_s$ «اختلاف منظر معدل قمر» خوانده می‌شود.

در برگ‌های ۸۶ و ۱۲۱ زیج خاقانی، کاشانی قواعدی را که در زیر با نمادگذاری امروزی آمده

$$P_m = \arcsin \left(\frac{\cos h_t}{\sqrt{(d_m - \sin h_t) + \cos^2 h_t}} \right)$$
$$P_m = \arcsin\left(\frac{\cos h_a}{d_m}\right)$$

شکل ۱



شکل ۲

در برگ ۱۶۳، جدولی برای اختلاف منظر معدل قمر وجود دارد که تا دو رقم شصتگانی، برای هر درجه صحیح فاصله سمت الرأسی، $\bar{h}_t$ (متمم ارتفاع حقیقی) محاسبه شده است. از آن جاکه این جدول برای محاسبه گرفت‌ها است، فرض می‌شود که کشیدگی صفر است؛ از این رو، بر اساس مدل بطلمیوس^۱، مرکز فلک تدویر ماه در بیشترین فاصله از مرکز زمین خواهد بود. اما ناهنجاری ماه، یعنی موقعیت ماه روی فلک تدویر، مستقل از کشیدگی است، و به دلیل تأثیر ناهنجاری بر روی فاصله ماه، d_m ، اصلاحی لازم است. این اصلاح به روش متعارف بطلمیوس انجام شده است. P_{am} که به ازای $\bar{h}_t$ محاسبه شده است، با فرض اینکه ماه در ذروه (ناهنجاری $\alpha = 0^\circ$)، و بنابراین در بیشترین فاصله‌اش از زمین باشد، محاسبه شده است. متناظر با هر P_{am} در جدول، تعدیل آن است، که افزایش اختلاف منظر معدل، حاصل از حرکت ماه به حضیض فلک تدویر ($\alpha = 180^\circ$) است. برای مقادیر میانی ناهنجاری α ، اختلاف منظر با درونیابی زیر محاسبه شده است:

$$P_{am}(h_t, \alpha) = P(h_t, 0^\circ) + E(h_t)C(\alpha) \quad 0 \leq C \leq 1$$

که در آن مقادیر C از یک جدول کمکی بر روی همان برگ نسخه خطی به دست می‌آید که تا دو رقم شصتگانی برای هر درجه صحیح α محاسبه شده است.

۱. به عنوان نمونه نک: منبع [۱۲]، ص ۱۰۹.

پارامترهای اساسی برای محاسبه این جدول d_s و d_m هستند. کاشانی این پارامترها را از یک رساله دیگر خود درباره فاصله سیارات یعنی سلم السماء نقل می‌کند (منبع [F]). با فرض اوج حامل برابر $۱,۰$ ، شعاع تدویر ماه برابر است با $۱۶,۴۷;۰,۵$ ^۱. بنابراین با فرض ماه در ذروه، فاصله زمین-ماه برابر است با $۱,۵;۱۶,۴۷$ ، و زمانی که ماه در حضیض است، فاصله برابر است با $۵۴;۴۳,۱۳$. کاشانی برای تبدیل این فواصل به مضاری از شعاع زمین، آن‌ها را در $۵۸,۲۷;۰$ ضرب می‌کند. اثر تغییرات d_s بر P_{am} به قدری کوچک است که همه جا مقدار میانگین $۲۵;۲۳,۲$ (بر اساس شعاع زمین) به کار می‌رود.

با این مقادیر، اختلاف منظر خورشید در افق برابر $۲,۱۵;۰$ و P_{am} متناظر آن برابر $۵۱,۴۷;۰$ می‌شود. صحت عمومی این جدول با محاسبه موردی تعدادی از مقادیر جدول تأیید شد. از آن‌جاکه پارامترهای اساسی با آن‌هایی که بطلمیوس استفاده کرده متفاوت است، همه مقادیر اختلاف منظر نیز اندکی با مقادیر مجسّطی تفاوت دارد.

۳. مؤلفه‌های طولی و عرضی اختلاف منظر

پس از تعیین اختلاف منظر در دایره ارتفاع، نوبت محاسبه P_λ و P_β ، اختلاف میان طول و عرض سماوی موقعیت حقیقی و ظاهری جسم آسمانی مفروض است. کاشانی به عنوان مقدمه‌ای برای این کار و با استفاده آزادانه از قضیه سینوس‌ها و قضایای مثلثات کروی مربوط، این مسئله را حل می‌کند: پیدا کنید h_t را برحسب β ، که برابر عرض دایره البروجی جرم سماوی است، و λ ، که برابر طول دایره البروجی آن است، و λ_H ، طول دایره البروجی طالع، یعنی نقطه‌ای که دایره البروج افق شرقی را در لحظه مورد سوال قطع می‌کند (نقطه H در شکل ۲).

در اینجا و در ادامه کاشانی بسیار از مفهوم «عرض اقلیم رؤیت»، a_e ، استفاده می‌کند. عرض اقلیم رؤیت کوتاه‌ترین فاصله میان سمت الرأس و دایره البروج، یا متمم a_e ، زاویه میان دایره البروج و افق است. بالاترین نقطه دایره البروج، V در شکل ۲، «وسط سماء رؤیت» نامیده می‌شود. این نقطه نباید با «وسط السماء» یا «عاشر» در احکام نجوم اشتباه گرفته شود. اصطلاحات عربی و فارسی در این جا تا حدی مبهم است.

این اصطلاحات که در بیشتر زیج‌ها دیده می‌شوند، در ابتدای دوره اسلامی برای مثال در آثار خوارزمی و هم عصر او حبش حاسب دیده می‌شوند. مفهوم اقلیم رؤیت بدون شک از هندی‌ها گرفته شده است که از آن استفاده می‌کردند (منبع [۲]، ص ۱۶۷) در حالی که این مفهوم در نجوم یونانی دیده نمی‌شود.

۱. در اینجا و همین‌طور در ادامه مقاله ویرگول ارقام شصتگانی را از یکدیگر جدا می‌کند و نقطه-ویرگول نشان‌دهنده جداکننده شصتگانی (معادل ممیز) است. بنابراین $۱,۵;۱۶,۴۷$ معادل $۱ \times ۶۰^1 + ۵ \times ۶۰^0 + ۱۶ \times ۶۰^{-1} + ۴۷ \times ۶۰^{-2}$ است.

چون در هنگام خورشیدگرفتگی، ماه نزدیک دایرة البروج است، ما روش کاشانی را در تعیین P_β و P_λ با فرض $\beta = 0$ (عرض صفر) عرضه می‌کنیم.

در شکل ۲، L_t و L_a به ترتیب تصویر ماه حقیقی و مرئی بر روی کره سماوی است. چون L_t روی دایرة البروج است، دایرة عرض که از L_a می‌گذرد یک مثلث کروی قائم‌الزاویه ایجاد می‌کند با ساق‌های P_β و P_λ که بزرگی آنها باید تعیین شود، و وتر آن P_{am} ، اختلاف منظر معدل ماه است. البته این کاملاً صادق نیست، چرا که به دلیل اختلاف منظر خورشید، خورشید مرئی کمی پایین‌تر از دایرة البروج است. با این حال کاشانی رابطه زیر را به کار می‌برد:

$$\frac{\sin \overline{h_t}}{\sin a_e} = \frac{\sin P_{am}}{\sin P_\beta}$$

از چهار پارامتر این معادله، تنها P_β مجهول است. بنابراین آن را می‌توان برحسب سه تای دیگر پیدا کرد. کاشانی همچنین حالت عمومی را که L_t بر روی دایرة البروج نیست، بررسی می‌کند.

۴. مقایسه روش‌های یونانی و اسلامی

اکنون زمینه کاملاً برای آزمودن اعداد جدول از طریق محاسبه مستقل که انگیزه اصلی مطالعه حاضر بوده فراهم شده است. اما قبل از آن، مقایسه روش‌های زیج خاقانی به عنوان یک اثر متأخر دوره اسلامی، با روش‌های مجسطی جالب خواهد بود. دیدیم که کاشانی از همه مزایای مثلثات کروی بدیع که در فاصله حدود دوازده قرن میان نگارش دو اثر پدید آمده بود بهره برد. مثلثات کروی شاخه‌ای از ریاضیات است که عموماً بر پایه دستاوردهای ریاضی‌دانان ایرانی که تحت حمایت آل‌بویه فعالیت می‌کردند پدید آمد. از طرف دیگر، مثلثات کروی بطلمیوس، محدود به استفاده از نظریه پیچیده (هرچند مؤثر) منلائوس بود. همچنین تنها جدول مثلثاتی بطلمیوس جدول وتر بود، در حالی که کاشانی و هم‌عصرانش از جداول پیشرفته‌ای از همه توابع مثلثاتی رایج بهره می‌بردند.

بطلمیوس جدولی دارد^۱ که برای هر یک از هفت اقلیم کلاسیک باستان، زاویه بین دایرة البروج و خط واصل سمت‌الرأس محل به نقطه آغاز هر یک از بروج را، برای تعداد ساعت صحیح فاصله این نقاط، قبل و بعد از نصف‌النهار به دست می‌دهد. این زاویه همان زاویه ZL_tV در شکل ۲ است. همین جدول فاصله سمت‌الرأسی این نقاط، معادل ZL_t را نیز به دست می‌دهد. او سپس با ضرب P_{am} در سینوس و کسینوس این زاویه، می‌تواند عملاً P_β و P_λ را با تقریب مناسبی به

۱. منبع [۳]، جلد ۱، ص ۱۳۴-۱۴۷.

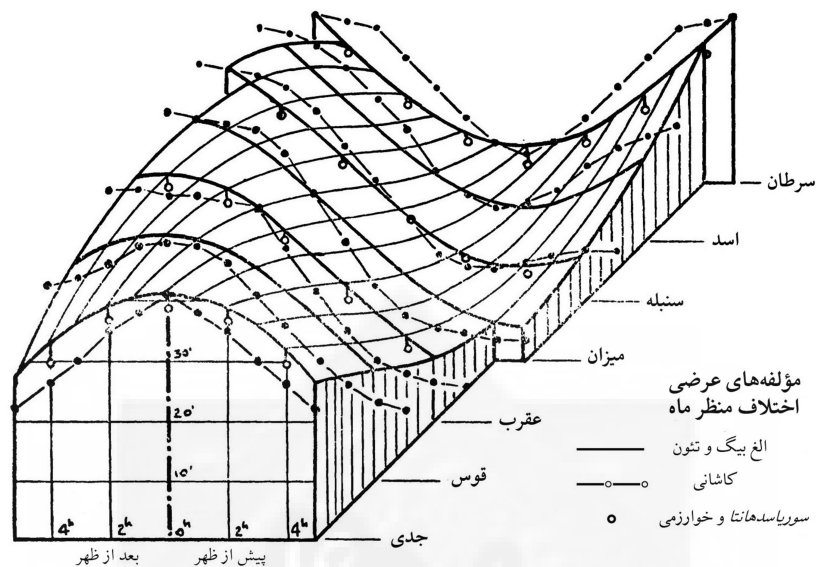
دست آورد. P_{am} به راحتی با استفاده از جداول او برای اختلاف منظر ماه و خورشید به عنوان تابعی از فاصله سمت الرأسی به دست می‌آید.^۱ روش بطلمیوس این فرض ضمنی مشروع را در بر دارد که مثلث کروی قائم‌الزاویه $L_p FL_a$ به اندازه کافی کوچک است که بتوان آن را یک مثلث مسطح در نظر گرفت.

برای مقایسه روش‌ها و رویکردها مرتبط خواهد بود که یادآوری کنیم که علاوه بر آنچه در بالا شرح داده شد، زیچ خاقانی (برگ ۱۸۵ر) جداولی برای اختلاف منظر در افق برای ماه و زهره به صورت توابعی از فاصله از زمین دارد. یک نقص اساسی مدل ماه بطلمیوس این است که ماه در تربیع بیش از حد به زمین نزدیک می‌شود. بطلمیوس، که فوق‌العاده در ترکیب مشاهده با نظریه مهارت دارد، از محاسبه اختلاف منظر ماه در موقعیت‌های غیر از مقارنه و مقابله می‌پرهیزد، و بدین ترتیب زیرکانه از جلب توجه به مشکل بالا می‌پرهیزد. علاوه بر این، بطلمیوس مشخصاً وجود اختلاف منظر قابل رؤیت برای سیارات را انکار می‌کند (منبع [۳] ج ۲، ص ۱۱۵). اما کاشانی که اصولاً مدل بطلمیوس را، با وجود تضاد با رصد، پذیرفته بود در بیشترین استفاده از آن پروایی نداشت. کاشانی برای ماه در نزدیک‌ترین فاصله از زمین اختلاف منظر افقی بزرگ و نامعقول ۱؛۴۳،۳۳ را به دست آورد. او برای زهره در کم‌ترین فاصله نیز اختلاف منظر را ۰؛۱۵،۵۳ به دست آورد. از طرف دیگر، رویکرد محاسباتی دقیق کاشانی در شناخت منابع خطا برتر از بطلمیوس است.

۵. جداول اختلاف منظر الغ بیگ

تا اینجا همه چیز سراسر است بود، اما در حقیقت اعداد جدول کاشانی با مقادیری که بر پایه نظریه کاشانی محاسبه شده‌اند برابر نیست. وضعیت به خوبی در شکل‌های ۳ و ۴ دیده می‌شود.

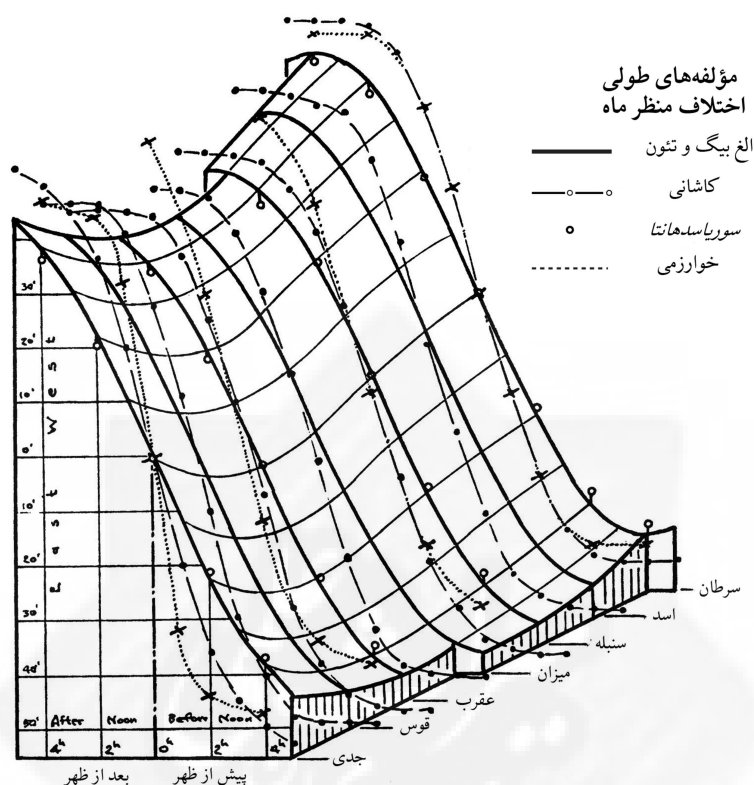
۱. همان، ص ۳۵۸-۳۵۹.



شکل ۳

در این شکل‌ها توابع P_λ و P_β به صورت سطوحی بر حسب زمان از نصف‌النهار و بر حسب بروج رسم شده‌است. سطوح کاشانی (که با نقطه و خط فاصله نشان داده شده‌اند) برای مؤلفه‌های عرض و طول هم در کیفیت و هم در بزرگی از سطوح دقیق (که به وسیله دسته منحنی‌های متقاطع نشان داده شده‌است) متفاوت دیده می‌شود. در حالی که جفت سطوح مربوط وضعیت عمومی مشابهی دارند، سطوح کاشانی بیشتر زاویه‌دار و نسبت به جفت دیگر نامنظم‌ترند. به سختی می‌توان پذیرفت که استاد محاسبه که هیچ خطایی در محاسبه π تا هفده رقم اعشار مرتکب نشده‌است (منبع [۱۰])، به صورت یکنواخت در رقم اول یک محاسبه ساده اشتباه کند. فرضیه محتمل‌تر این است که جدول زیچ خاقانی بدون ذکر منبع به صورت کامل از یک نظریه اختلاف منظر ابتدایی‌تر نقل شده باشد.

لازم است از موضوع بحثمان خارج شویم و بگوییم که جدول کاشانی برای P_λ بر حسب درجه نیست بلکه بر حسب ساعاتی که P_λ زمان مقارنه ظاهری را جلو یا عقب می‌اندازد محاسبه شده‌است. اما از آن‌جا که سرعت میانگین کشیدگی نزدیک به مقدار دوازده درجه در روز است، تقسیم اعداد جدول کاشانی به دو آن‌ها را با دقت کافی برای منظور ما به درجه تبدیل می‌کند. بدین ترتیب می‌توان آن‌ها را با اعداد جداول دیگر که معمولاً بر حسب درجه‌اند مقایسه کرد.



شکل ۴

گام بدیهی بعدی این است که زیج‌های دیگر را تا جایی که در دسترس هستند بررسی کنیم. رایج‌ترین این زیج‌ها در دوره متأخر اسلامی زیج تحسین شده سلطانی است (منبع [G])، اثری که به حق به دلیل دقت و جزئیات جدولش معروف است. این زیج توسط گروهی از دانشمندان تهیه شد که در رصدخانه سمرقند که الغ بیگ (د ۸۵۳ق)، حاکم و منجم، نوه تیمور لنگ تأسیس کرد کار می‌کردند.^۱ زیج سلطانی در نسخه‌های بسیاری در دسترس است که در هند، خاورمیانه، خاور نزدیک، آفریقای شمالی، اروپا، و آمریکا پراکنده‌اند. بخش‌های مربوط به اختلاف منظر این زیج خیلی شبیه زیج خاقانی است، که البته عجیب هم نیست، چراکه کاشانی توسط الغ بیگ به سمرقند فراخوانده شد، و تا زمان مرگش سرپرست رصدخانه آن جا بود. زیج سلطانی جدولی برای P_{am} دارد که شبیه جدول کاشانی اما با پارامترهایی کمی متفاوت تنظیم شده است. P_{am} افقی برای ماه در دورترین فاصله برابر است با ۵۱٫۲۲؛ و تعدیل مربوط به آن برابر است با ۱۰٫۱۴؛ جدولی برای P_s

۱. در مورد فعالیت‌های سیاسی و علمی الغ بیگ منابع [۱]، [۵]، و [۱۳] را ببینید.

افقی نیز در زیج سلطانی وجود دارد که تا سه رقم شصتگانی برای هر درجه فاصله خورشید از اوج محاسبه شده است. بیشترین مقدار آن برابر است با $۰;۲,۲۹,۲۴$. جداول P_{λ} و P_{β} نیز تا دو درجه شصتگانی برای همان بازه متغیرهای کاشانی و برای عرض‌های جغرافیایی (φ) $۲۵, ۳۰, ۳۵, \dots, ۵۰$ درجه محاسبه شده است. مقادیر جدول الغیگ برای $\varphi = ۳۰^\circ$ در ردیف اول هر خانه جدول ۱ رونویسی شده است. برای منظور فعلی ما، آنها را می‌توان به عنوان نتیجه کاملاً دقیق نظریه شرح داده شده در قسمت سوم به حساب آورد که انتظار می‌رفت در زیج خاقانی یافته شود.

۶. جداول مؤلفه‌های اختلاف منظر تنون

در زیج بتانی (د ۳۱۷ق) که منتشر نیز شده است دسته‌ای از جداولی^۱ که حالا دیگر آشنا هستند برای هر کدام از هفت اقلیم وجود دارد. مقادیر جدول اقلیم سوم از این جداول (برای $\varphi = ۳۰; ۴۰^\circ$) که از این هفت اقلیم نزدیک‌ترین به $\varphi = ۳۰^\circ$ کاشانی و الغیگ است) دومین عدد در خانه‌های جدول ۱ است. چنین جداولی در بیشتر زیج‌هایی که توسط نویسندگان حاضر بررسی شده گنجانده شده است. منبع آن‌ها توسط ابن شاطر (منبع [H]) معرفی شده است، که می‌گوید این جداول از زیج تنون (اسکندرانی) هستند. ادعای او با مراجعه به تصحیح آلما^۲ از جداول تنون تأیید می‌شود.^۳ احتمالاً چنان‌که در بخش سوم گفته شد، این جداول در ابتدا از جداول مجسطی گرفته شده‌اند. جداول الغیگ و تنون بر پایه پارامترهای کمی متفاوت محاسبه شده‌اند. ε میل دایره البروج، در دو جدول به ترتیب برابر $۲۳;۳۰, ۱۷^\circ$ و $۲۳;۵۱, ۲۰^\circ$ در نظر گرفته شده است؛ و تفاوت در عرض جغرافیایی φ و اختلاف منظر افقی هم اعمال شده است. با وجود این، و با وجود تقریب‌های ذاتی روش بطلمیوس در محاسبه مؤلفه‌های اختلاف منظر، مقادیر تنون عموماً همان مقادیر الغیگ هستند که تا رقم اول گرد شده است. از این رو واضح است که با بررسی جداول تنون توضیحی برای جدول کاشانی یافت نخواهد شد.

۷. روش حبش

از سه زیجی که گفته می‌شود توسط احمد بن عبدالله حبش حاسب مروزی (یا دمشقی، شکوفایی ۲۱۸ق) نوشته شده، نسخه‌ای که در کتابخانه مسجد جامع نوی (ینی جامع) استانبول (منبع [C]) وجود دارد، جداول اختلاف منظر تنون را ندارد، در حالی که قسمت‌های دیگر آن خیلی بر مجسطی

۱. منبع [۱۱]، جلد ۲، ص ۹۵-۱۰۱. به پیروی از منجمان مسلمان ما این جداول را جداول تنون می‌نامیم، ولی همان‌طور که آقای دبلیو دی استالمن نشان دادند، به دلیل تردیدهایی که حول آنچه «جداول مفید» خوانده می‌شود وجود دارد، بهتر است آن را «جداول بطلمیوسی-تنونی» بنامیم.

2. Halma

۳. منبع [۴]، بخش دوم، ص ۹۸-۱۱۰.

بطلمیوس تکیه دارد. البته حبش روشی برای تعیین P_λ و P_β عرضه می‌کند که می‌تواند به عنوان مثالی از یک رویکرد مثلثاتی در گذار از بطلمیوس به روش‌های منجمان اسلامی بعدی به حساب بیاید. با مراجعه مجدد به شکل ۲، دستورالعمل حبش فرمول زیر را به دست می‌دهد:

$$\frac{\sin L_t V \sin KL_t}{\sin HL_t \cos KL_t}$$

که آن را «سینوس اول» می‌نامد (این فرمول در حقیقت برابر $\cos L_t$ است). سپس او می‌گوید، کسینوس سینوس معکوس سینوس اول را به دست آورید و آن را سینوس دوم بنامید (این $\sin L_t$ است) در نهایت بدون اثبات می‌گوید:

$$\sin P_\beta = (\sin e)(\sin P_{am})$$

و

$$\sin P_\lambda = \frac{(\sin P_{am})(\sin e)}{\cos P_\beta}$$

هر دو فرمول بالا درست هستند و نشان می‌دهند که در همان ابتدای دوره اسلامی و پیش از کشف قضیه سینوس‌ها، روش‌های مثلثات کروی جانشین مثلث مسطح اختلاف منظر بطلمیوس شده بود.

در همان نسخه زیج حبش روش کاملاً متفاوت دیگری برای تعیین P_λ و P_β وجود دارد که در بخش ۱۴ این مقاله بعد از بحث از روش‌هایی که تصور می‌شود هندی باشند توضیح داده شده است. نسخه‌ای نیز در برلین وجود دارد که گفته شده که نسخه‌ای از زیج حبش است (منبع [M]). این نسخه با نسخه استانبول (منبع [C]) یکسان نیست و حتی نزدیک به آن نیز نیست، اگرچه برخی جداول دو نسخه یکی است. گذشته از این، گرچه حبش در حدود ۲۶۰ ق درگذشت، به نظر می‌رسد مبنای جداول حرکت وسط در نسخه برلین سال ۵۱۱ ق است. این نسخه همچنین شامل مباحثی منسوب به نیریزی و ابوالوفا می‌شود، که بعد از مرگ حبش می‌زیسته‌اند. پس این اثر نمی‌تواند اثر حبش در شکل اولیه خود باشد.

جداول اختلاف منظر در دو جای این نسخه دیده می‌شوند. در بخشی درباره محاسبات گرفت، جدول اختلاف منظر خورشید و ماه در دایره ارتفاع برگرفته از مجسطی با تفاوت‌هایی مربوط به خطای کتابت دیده می‌شود. در بخش مربوط به رؤیت هلال ماه مجموعه‌ای از سه تابع جدول‌بندی شده با عنوان «جدول اختلاف منظر ماه برای رؤیت هلال» وجود دارد. توابعی که این جداول نشان دهنده آن هستند عبارتند از: (۱) یک روش درونیابی معمول برای تغییر یک مقدار پایه بر اساس تغییر در ناهنجاری ماه. (۲) تابع $0.6 \sin \theta$. (۳) تابع $23.35 \sin \theta$. جدول هر سه تابع به گونه‌ای

بی دقت جدول بندی شده است که گویی با درون یابی خطی برای فواصل نامنظم محاسبه شده اند. مؤلف از تابع سوم برای یافتن میل تقریبی اجزای دایره البروج سود می برد، اگرچه همان طور که در بخش ۱۴ دیده خواهد شد، چنین جدولی می تواند برای محاسبه P_λ و P_β مطابق روش هندی به کار رود. متن همراه جداول نوآوری خاصی نشان نمی دهد، و به هر تقدیر به این دلیل که مؤلف این جداول به پدیده ای علاقه مند است که در نزدیکی افق رخ می دهد که در آن تغییرات P_λ و P_β مورد سوال نیست، این جداول چندان به کار ما نمی آید. این جداول برای تعیین تقریبی a_e ، و از این طریق برای یافتن P_λ و P_β افقی به کار رفته است.

۸. جداول ابن شاطر

فصل های مربوط به اختلاف منظر در زیج جدید (منبع [H]) علی بن شاطر (د. ۷۷۷ق)، توسط فردی تهیه شده است که کار پیشینیان خود را فهمیده و به کار بسته است تا جداولی مناسب برای موقعیت جغرافیایی خود فراهم کند. ابن شاطر که موقت مسجد اموی دمشق بود، جداول P_λ و P_β تنون را در زیج خود آورده، اما جدولی مشابه نیز برای عرض جغرافیایی دمشق ($\varphi = 33; 30^\circ$) محاسبه کرده است که مؤلفه های اختلاف منظر معدل قمر را تا یک رقم شصتگانی، برای مقارنه های واقع در نقطه آغازین هر یک از بروج، و برای هر چهار دقیقه از روز پس از طلوع آفتاب به دست می دهد. در رابطه با محاسبه P_λ و P_β ابن شاطر پنج راه زیر را برای تعیین زاویه L_t (شکل ۲) عرضه می کند:

$$\begin{aligned} (۱) \quad & \frac{\sin a_e}{\cos KL_t} = \sin L_t \\ (۲) \quad & \frac{\cos L_t H \cos a_e}{\cos L_t K} = \cos L_t \\ (۳) \quad & \frac{\sin(L_t H' - 90^\circ) \sin L_t K}{\cos(L_t H' - 90^\circ) \cos L_t K} = \cos L_t \\ (۴) \quad & \cot L_t H \tan L_t K = \cos L_t \\ (۵) \quad & \frac{\cos L_t H \sin L_t K}{\sin L_t H \cos L_t K} = \cos L_t \end{aligned}$$

این فرمول ها همه درست هستند و از این رو معادل یکدیگرند. البته سادگی تبدیل یکی از این فرمول ها به دیگری در غیاب نمادهای امروزی کم تر بدیهی به نظر می رسد. سپس ابن شاطر رابطه های زیر را عرضه می کند:

$$\begin{aligned} \sin P_\beta &= \sin P_{am} \sin L_t \\ \sin P_\lambda &= \sin P_{am} \cos L_t \end{aligned}$$

توجه داشته باشید که اولین فرمول از این دو دقیق است، اما در دومی مثلث L_1FL_1 به عنوان یک مثلث مسطح در نظر گرفته شده است. بنابراین از نگاه نظری این راه حل در مقامی پایین تر از راه حل حبش است که مدت ها پیش از ابن شاطر عرضه شد.

ویژگی دیگر کار ابن شاطر که در زیج های دیگر دیده نمی شود جدول تعدیلی است که مؤلفه های اختلاف منظر جداول تنون را برای مقادیر غیر صفر ناهنجاری ماه، α ، تصحیح می کند (در مقدار صفر ناهنجاری، ماه در ذروه تدویر است). متغیر این جدول مقادیر α برابر 0° ، 6° ، 12° ، ...، 360° است که دو تابع به آن مربوط است: اول سرعت حرکت روزانه ماه بر حسب درجه، λ ، و دیگری مجموعه ای از ضرایب C ، که از $1;0$ (در $\alpha=0^\circ$) تا $1;12$ (در $\alpha=180^\circ$) ادامه می یابد. ضرایب C با یک تبدیل خطی از λ و گرد کردن نتیجه تا رقم صحیح دقیقه محاسبه شده اند با این فرض که اختلاف منظر و سرعت زاویه ای ماه متناسبند. مؤلفه های اختلاف منظر گرفته شده از جدول بزرگ را در مقادیر مرتبط C ضرب می کنیم تا مقادیر معدل P_β و P_λ حاصل شود. ابن شاطر می گوید که این جدول نیز از تنون است و این ادعا نیز با مراجعه به جداول مفید تنون تأیید می شود (منبع [۴]، بخش اول، ص ۱۴۷).

ابن شاطر جدول مشابهی عرضه می کند تا با جداول مؤلفه های اختلاف منظر خودش که برای دمشق محاسبه شده است به شکل مشابهی به کار رود. ولی از آن جایی که جدول او ماه را در حضیض تدویر در نظر می گیرد، ضرایب مذکور برابر یک یا کم تر از آن هستند. این ضرایب به صورت تابعی خطی از λ برای متغیرهایی با فواصل ده دقیقه ای جدول بندی شده اند. در زیج ابن شاطر دو روش جالب دیگر برای اختلاف منظر شرح داده شده اند، اما مناسب تر است که آن ها را در کنار منابع دیگر در بخش های ۹، ۱۲، و ۱۳ بررسی کنیم.

۹. جدول یحیی بن ابی منصور و یک روش غریب در تعدیل مؤلفه های اختلاف منظر

چنین ادعا شده است که از زیج ممتحن، زیجی که به امر مأمون (حک ۱۹۸-۲۱۸ق) خلیفه عباسی تدوین شد، نسخه ای در کتابخانه اسکوریال وجود دارد (منبع [II]). هر چند به جز چند برگ اول، این نسخه توسط کاتبان مختلف نوشته شده است و دربرگیرنده مجموعه ای از جداول است که از منابع مختلف از جمله آثار ابوالوفا بوزجانی (د ۳۸۸ق)، کوشیار گیلانی (شکوفایی نیمه دوم قرن چهارم)، و ابن اعلیم (شکوفایی نیمه دوم قرن چهارم) گرفته شده است. برخی از این جداول به تنهایی بسیار جالب هستند. برای نمونه، در یک دسته از این جداول نظریه ای ابتدایی برای عرض سیارات عرضه شده است که اساساً از هر دو نظریه مجسطی و الگوی مشابهی که در سوریاسدهاتنا هندی و زیج خوارزمی دیده می شود متفاوت است.

جدول دیگری در این نسخه، در دو جای متفاوت آن دیده می شود، نخست در برگ ۱۰، و

همچنین در برگ ۷۰، که بر اساس عنوان، این جدول صراحتاً به زیج یحیی بن ابی منصور، مسئول گروه منجمان مأمون نسبت داده می‌شود. همان‌طور که در ادامه خواهیم دید، این جدول در نظریه اختلاف منظر کاربرد پیدا می‌کند، از این رو ما آن را با جزئیات شرح خواهیم داد. این جدول عنوان عجیب «عرض الشمس» (تابعی مانند $B(\varphi)$) را دارد، و متغیر آن «عرض البلد المحکم» (φ) نامیده می‌شود. تابع B برای متغیر φ با مقادیر ۱، ۲، ۳، ...، ۹۰ درجه جدول‌بندی شده است. منحنی تابع از مبدأ شروع می‌شود و به صورت مداوم با شیب کاهنده تا مقدار پیشینه $0; 48, 32^\circ$ بالا می‌رود. تعیین مرتبه ارقام شصتگانی B حدس ماست. مقادیر جدول B مخدوش است و تلاش برای بازیابی مقادیر اصلی به جز قسمت‌هایی که حدود بیست درجه از نقطه ابتدایی و پایانی فاصله دارند موفقیت‌آمیز نبوده است. قطعات بازیابی شده از قسمت‌های مستقیم متصل تشکیل شده است، و می‌توان نتیجه گرفت که همه جدول از طریق درونیابی خطی در فاصله مجموعه‌ای از حدوداً هشت مقدار که از تابع اصلی حاصل شده‌اند تنظیم شده است. نتیجه تقریباً به تابعی سینوسی شباهت دارد. خواننده در بخش ۱۱ متوجه شباهت این تابع با تابع P_β در سوریاسدهانتا خواهد شد.

اکنون زمینه برای بررسی فصل هفتاد و هشت زیج ابن شاطر فراهم شده است. این فصل روش‌های تقریبی به دست آوردن مؤلفه‌های اختلاف منظر را برای هر موضع (x) از طریق اصلاح مؤلفه‌های جدول دمشق (مثل $P_{\lambda D}$ و $P_{\beta D}$) توصیف می‌کند. روش محاسبه مؤلفه عرض چنان است که گویی حرکت ناظر از دمشق در جهت جنوب سبب می‌شود تا موقعیت مقارنه در یک دایره ارتفاع به سمت سمت الرأس حرکت می‌کند. این به این دلیل است که در دستورالعمل محاسبه، ارتفاع مربوط به $P_{\beta D}$ در جدول اختلاف منظر ماه در دایره ارتفاع یافته می‌شود. سپس مقدار $\Delta\varphi = \varphi_D - \varphi_x$ به ارتفاع حاصل اضافه می‌شود. مقدار حاصل را به عنوان یک ارتفاع در نظر می‌گیریم و اختلاف منظر مربوط به آن را از همان جدول اختلاف منظر دمشق پیدا می‌کنیم. نتیجه $P_{\beta x}$ مطلوب است.

ظاهراً به عنوان یک روش جایگزین، ابن شاطر همین روش را این بار با استفاده از «جدول معروف به جدول عرض شمس» به جای جدول اختلاف منظر در دایره ارتفاع به کار می‌برد. چنین جدولی در زیج ابن شاطر وجود ندارد، اما سرانجام این جدول در نسخه اسکوریال که در بالا شرح داده شد یافته شد.

بخش‌هایی از متن که به تعیین $P_{\lambda x}$ مربوط می‌شود مخدوش است، اما بازسازی زیر از شیوه محاسبه محتمل به نظر می‌رسد. ایده کلی این است که ابتدا چنین عمل کنیم که گویی برجی که مقارنه در آن اتفاق می‌افتد هم در دمشق و هم در شهر دلخواه x در حال طلوع (یا غروب) است و

سپس نتایج را برای مقارنه‌ای که روی افق نیست اصلاح کنیم. به صورت عملی، ابتدا اختلاف عرض $\Delta\varphi = \varphi_D - \varphi_x$ را تعیین می‌کنیم. سپس فرض می‌کنیم که مقارنه به طالع نزدیک‌تر است تا غارب. فرض می‌کنیم $P_{\lambda Dr}$ مؤلفه اختلاف منظر در دمشق در زمانی است که برج مقارنه در حال طلوع است و در معادله زیر صدق می‌کند:

$$P_{\lambda xr} = P_{\lambda Dr} - \Delta\varphi T_r$$

که در آن T_r «تعدیل طلوع» از جدولی که «تعدیل العرض» نامیده می‌شود به دست آمده. این جدول در ادامه جدول $P_{\lambda D}$ و $P_{\lambda Dr}$ به صورت زیر آمده است:

برج مقارنه	حمل	ثور	جوزا	سرطان	اسد	سنبله	میزان	عقرب	قوس	جدی	دلو	حوت
تعدیل طلوع T_r	۰؛۴۰	۰؛۴۰	۰؛۴۰	۰؛۳۵	۰؛۲۵	۰؛۱۰	۰؛۱۰	۰؛۱۰	۰؛۲۵	۰؛۳۵	۰؛۴۰	۰؛۴۰
تعدیل غروب T_s	۰؛۱۰	۰؛۱۰	۰؛۲۵	۰؛۳۰	۰؛۴۰	۰؛۴۰	۰؛۴۰	۰؛۴۰	۰؛۴۰	۰؛۳۵	۰؛۲۵	۰؛۱۰

جدول ۲

هدف این جدول ولو به صورت غیر دقیق این است که این حقیقت را به حساب بیاورد که اگرچه حرکت به جنوب از دمشق همیشه به افزایش میل استوا نسبت به افق محلی، و از این رو به افزایش $P_{\lambda r}$ منتج می‌شود، این افزایش در حمل بیشترین مقدار و در میزان کم‌ترین مقدار را دارد. عکس این در مورد $P_{\lambda s}$ صدق می‌کند که مربوط همین پدیده در افق غربی است. نتیجه نهایی بدین صورت است:

$$P_{\lambda x} = P_{\lambda xr} \left(\frac{P_{\lambda D}}{P_{\lambda Dr}} \right)$$

اگر مقارنه به غارب نزدیک‌تر از طالع باشد، خط سوم جدول، T_s ، به جای T_r به کار می‌رود، و صورت‌بندی مطابق آن اصلاح می‌شود. این شاطر این فصل را با این اشاره به پایان می‌برد که:

عمل برطبق این روش دقیق‌تر و راحت‌تر از جداول تنون است، و این ترفند

لطیفی است برای تعیین اختلاف منظر طولی و عرضی ماه در هر شهری با

استفاده از فقط یک جدول [مؤلفه‌ها]، لکن خداوند تعالی بهتر می‌داند.^۱

اگر بتوانیم از قضاوت در مورد این که تا چه اندازه این ترفند خوب است خودداری کنیم، به

۱. «والعمل علی هذا الطريق أضبط من جداول ثاون وأسهل وهذه حيلة لطيفة في معرفة اختلاف منظر القمر في الطول والعرض في كل بلد بجدول واحد والله تعالی أعلم». م

این دلیل که قصد دارد که یک پدیده بسیار پیچیده را به سادگی محض تقلیل دهد، اهمیت این روش‌ها در عدم ظرافت بیش از اندازه آن است. خصوصاً استفاده از جدول تعدیل عرض یادآور «روش‌های حسابی» است که توسط بابلی‌ها بنیان نهاده شد و در منابع یونانی، هندی، و اروپای سده‌های میانه به خصوص در اختربینی همچنان مورد استفاده بود. تکنیک‌های مثلثاتی ارتقا یافته مجسطی مانع استفاده از روش‌های حسابی مذکور در نجوم سطح بالای یونان شد. این اولین نمونه از اقتباس چنین روش‌های حسابی توسط یک منجم دوره اسلامی است که نویسنده حاضر ملاحظه کرده است.

۱۰. جداول اختلاف منظر در زیج‌های دیگر

برای اینکه این مقاله موضوع را تا جایی که در حال حاضر عملی است به صورت کامل پوشش دهد، این بخش چهار زیج را فهرست می‌کند که توسط نویسنده مورد بررسی قرار گرفته است ولی جداول اختلاف منظر آن‌ها به اندازه کافی جالب نبوده است تا سبب شود به صورت مبسوط به آن‌ها پردازیم. الزیج الجامع (منبع [J]) نوشته کوشیار گیلانی (شکوفایی نیمه دوم قرن چهارم) جدولی برای $P_s(h)$ دارد که تا دو رقم شصتگانی، برای متغیرهایی با فاصله سه درجه محاسبه شده است. P_s افقی برابر است با 30° ؛ 0° . این زیج نیز جدول تتون برای P_β و P_λ را البته فقط برای اقلیم سوم دارد. اثر فاخر و قابل ستایش زیج سنجر (منبع [L]) نوشته ابومنصور عبدالرحمان خازنی (شکوفایی در نیمه اول قرن ششم)، که به سلطان سنجر سلجوقی تقدیم شده است، همان جداول اختلاف منظر زیج بتانی، یعنی جداول بطلمیوس برای $P_s(h)$ و $P_m(h)$ و جداول تتون برای P_β و P_λ برای هر هفت اقلیم را دارد. علاوه بر این او جدولی از نوع جدول تتون، البته برای عرض جغرافیایی مرو ($\varphi = 38^\circ$)، محل رصدخانه او عرضه می‌کند. مقادیر این جدول مشخصاً برپایه نظریه دقیق محاسبه شده است و نوآوری‌ای در آن نیست.

زیج ایلخانی (منبع [K]) نوشته نصیرالدین طوسی (د ۶۷۲ق) جداول P_β و P_λ تتون را البته فقط برای اقلیم‌های سوم، چهارم و پنجم دربرمی‌گیرد. زیج ایلخانی همچنین جدول خازنی از نوع تتون را نیز برای $\varphi = 38^\circ$ در بر دارد. دلیل آن بی‌شک این است که مراغه محل رصدخانه او عرضی خیلی نزدیک به مرو دارد (مطابق خود زیج $\varphi = 37^\circ 20'$).

زیج شمس منجم وابکنوی (منبع [D])، شکوفایی در نیمه اول قرن هشتم) همان جداول تتون P_β و P_λ برای همه اقلیم‌ها را دارد. او جدول خازنی برای $\varphi = 38^\circ$ را نیز در زیج خود آورده، مؤید این مطلب که این جدول برای تبریز مناسب است. علاوه بر این او جدول دیگری برای استفاده در مراغه دارد که مقادیر آن کمی با مقادیر جدول $\varphi = 38^\circ$ متفاوت است.

۱۱. نظریه اختلاف منظر در سوریاسدهانتا

یک اثر نجومی مهم دوره اسلامی مهم باقی می ماند که بررسی نشده است: زیج خوارزمی که در بخش ۱۲ بررسی می شود. از آنجا که این اثر ریشه های هندی قوی دارد بهتر به نظر می رسد که ابتدا ببینیم چه چیزی می توان در دسترس ترین اثر هندی نجومی سده های میانه یعنی سوریاسدهانتا (منبع [۲]) یافت. علاوه بر ترجمه عالی بورگس^۱ از این کتاب دشوار و غامض، اقبال نویسنده حاضر برای دسترسی به یادداشت هایی در مورد این کتاب نوشته نویگه بائر^۲ و اشمیث^۳ بلند بوده است. آن چه در زیر می آید خلاصه ای از بخش های مربوط به اختلاف منظر در سوریاسدهانتا است که توسط این دو بازسازی شده است.

در افق، با استفاده مجدد از شکل ۲، اختلاف منظر معدل ماه (P_{am}) بیشینه خواهد بود، که آن را $hor P_{am}$ می نامیم؛ و در سمت الرأس صفر است. برای ارزیابی آن در مقادیر میانی h_t از درونیابی مثلثاتی استفاده می کنیم، یعنی آن را از طریق رابطه زیر به صورت سینوسی بین صفر و بیشینه اش نوسان می دهیم.

$$P_{am}(h_t) \equiv hor P_{am} \sinh_t \approx L_a L_t$$

این یک روش رایج در نجوم هندی بوده است و در ادامه در موارد متعدد دیده خواهد شد. در این مورد خاص، رابطه بالا دقیق نیست، اما تقریب خوبی است. برای تعیین مؤلفه عرضی به صورت تقریبی، $L_a L_t$ را روی دایره PF تصویر کنید. حاصل برابر خواهد بود با:

$$L_t F \approx hor P_{am} \sinh_t \sin L_t$$

و از آنجا که

$$\sin a_e = \sinh_t \sin L_t$$

تعریف سوریاسدهانتا از مؤلفه عرضی برابر است با:

$$P_\beta \equiv hor P_{am} \sin a_e$$

برای مؤلفه طولی، این مؤلفه در V ، بالاترین نقطه دایره البروج، صفر خواهد بود. اما در افق، جایی که تصویر $hor P_{am}$ بر روی دایره البروج برابر $hor P_{am} \sin a_e$ است، مؤلفه طولی بیشینه خواهد بود. دوباره از درونیابی مثلثاتی برای مقدار میانی بین H و V استفاده می کنیم، و به دست می آوریم:

$$P_\lambda \equiv hor P_{am} \sin a_e \sin \gamma$$

که در آن $\gamma = FV$ است. تنها متغیرهای عددی مورد استفاده، صریحاً یا تلویحاً، عبارتند از: ε ، که

1. Burgess
2. O. Neugebauer
3. O. Schmidt

به دلایلی که در بخش بعدی توضیح داده خواهد شد آن را برابر با $23;50^{\circ}$ می‌گیریم؛ و $hor P_{am}$ که در سور یاسدهانتا حدود 49° است. از آن‌جا که مورد دوم به مقدار ناچیز از مقادیر بطلمیوس و الغیغ کم‌تر است، می‌توان انتظار داشت که نتایج عددی که بر پایه نظریه و متغیرهای هندی حساب شده‌اند، کم‌تر از مؤلفه‌های تنون و الغیغ باشند. چنان‌که در جدول ۱ می‌توان دید این حدس درست است. در جدول ۱، اعداد ردیف چهارم هر خانه جدول حاصل چنین محاسباتی هستند. دوایر کوچک روی نمودار شکل ۳ و ۴، نشان‌دهنده این مقادیرند. با وجود اختلاف در متغیرها، و با وجود تقریب اساسی در تعاریف، مشاهده می‌شود که نظریه سور یاسدهانتا نتایج عالی به دست می‌دهد، که خیلی بهتر از نتایج کاشانی است.

۱۲. مؤلفه عرضی اختلاف منظر مطابق نظر خوارزمی

زیج محمد بن موسی خوارزمی (شکوفایی ۲۰۰ق) تنها از طریق ترجمه لاتینی آدلارد باثی از بازنویسی مجریطی (د ۳۹۸ق) از متن اصلی عربی به دست ما رسیده است (منبع [۱۴]). با این حال این متن به شکل منحصر به فردی جالب توجه است چراکه تنها متن نجومی در دسترس از دوره اسلامی است که در آن بخش مهمی از نظریه‌های مورد بحث از مجسطی بطلمیوس نشأت نمی‌گیرد. به عنوان نمونه، با نگاهی به مجسطی مشخص است که یکی از نوآوری‌های بطلمیوس این بوده است که حرکت ماه را با در نظر گرفتن یک نایکنواختی ثانوی غیر از ناهنجاری ماه بررسی کرد. در حالی که در زیج خوارزمی^۱ حرکت طولی میانگین ماه تنها با استفاده از ناهنجاری اصلاح می‌شود و این اصلاح مطابق روش متداول هندی با یک درون‌یابی مثلثاتی به وسیله یک تابع سینوسی (یا شبه‌سینوسی) انجام می‌شود که در فصل قبلی زیج خوارزمی شرح داده شده است.

زیج خوارزمی جدولی برای هر یک از مقادیر P_{λ} و P_{β} دارد،^۲ ولی این جدول به گونه‌ای کاملاً متفاوت از جدول تنون تنظیم شده است. فصل سی و چهارم زیج خوارزمی نحوه استفاده از این جداول را توضیح داده است ولی چیزی در مورد نظریه‌ای که جداول بر اساس آن محاسبه شده‌اند نمی‌گوید.

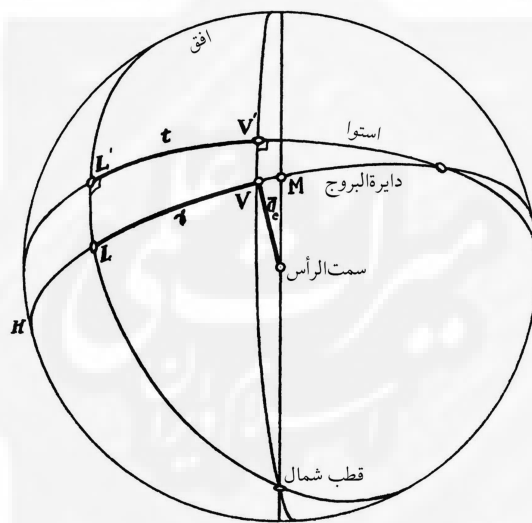
باب هشتم زیج ابن شاطر (منبع [H]) عنوان «در دانستن کسوف به روشی دیگر» را دارد. در باب منشأ این روش ابن شاطر تنها می‌گوید که این روش توسط بسیاری از قدما به کار می‌رفته است و اینکه در بین آن‌ها اختلافاتی در باب این روش رخ داده است. اما جداولی که در پی این فصل می‌آید، به استثنای اشتباهات کتابت یا اختلافات مربوط به گرد کردن رقم آخر، دقیقاً (عدد به عدد)

۱. منبع [۱۴]، ص ۱۳۲-۱۳۷.

۲. همان، ص ۱۸۷-۱۸۸.

همان جداول اختلاف منظر خوارزمی است. علاوه بر این، متن ابن شاطر با توضیحات خوارزمی تطابق دارد. همچنین یکی از جداول خوارزمی (جدول P_β) بدون توضیحی در مورد کاربرد آن در منبع [I] آمده است.

برای پیدا کردن P_β ، زیج خوارزمی و زیج ابن شاطر دستورالعمل زیر را عرضه می‌کنند: a_e ، عرض اقلیم رؤیت را پیدا می‌کنیم. با استفاده از آن به عنوان متغیر، مؤلفه عرضی مورد نظر از جدول مربوط را پیدا می‌کنیم. سوتر^۱ مصحح روایت لاتینی زیج خوارزمی، عبارت لاتینی معادل «وسط السماء»^۲ در ترجمه آدلارد را به عنوان نقطه M در شکل ۵ گرفته است. این البته طبیعی و مطابق با معنی رایج این عبارت است. ولی منظور خوارزمی نقطه V بوده است نه نقطه M.



شکل ۵

سوتر خود می‌گوید که بر اساس متن این نقطه باید نقطه‌ای باشد که 90° درجه از طالع H فاصله دارد. در این ارتباط ابن شاطر صریحاً هشدار می‌دهد که نباید M را به کار برد، و می‌گوید که این یک اشتباه رایج است.

در مورد جدول P_β ، جدول خوارزمی تنها نشان‌دهنده تابع $48.45^\circ \times \sin \theta$ ؛ برای مقادیر صفر تا نود درجه است. از اینجا و با مراجعه به بخش قبلی مقاله حاضر واضح است که نظریه اختلاف منظر عرضی خوارزمی همان نظریه سوریاسدهانت است. بدین ترتیب نمونه دیگری از وابستگی خیلی نزدیک جداول خوارزمی به نجوم هندی را نشان داده‌ایم.

1. Suter
2. *medium caelum*

روایت ابن شاطر اضافه می‌کند که اگر کسی بخواهد می‌تواند از $\overline{a_e}$ معدل به عنوان متغیر در جدول P_β استفاده کند. $\overline{a_e}$ نشان‌دهنده فاصله سمت الرأسی صفحه مدار ماه است (به جای دایرة البروج). بدین منظور، طول V را از طول گره صعودی ماه کم می‌کنیم و با استفاده از نتیجه به عنوان متغیر وارد جدول عرض ماه می‌شویم. عرض حاصل را به صورت جبری با $\overline{a_e}$ جمع می‌کنیم؛ نتیجه $\overline{a_e}$ معدل است. این روش در حقیقت تقریبی است، اما به صورت قابل قبولی دقیق است.

۱۳. مؤلفه‌های طولی اختلاف منظر خوارزمی

با نشان دادن اینکه P_β در زیج خوارزمی و ابن شاطر همان است که در سوریاسدهانت آمده، منطقی است که نتیجه بگیریم P_λ نیز اینچنین است. اما به مانند زیج خاقانی، نتیجه‌گیری منطقی ما در تضاد با متن است. روش کار با جدول به روشنی در هر دو زیج ابن شاطر و خوارزمی شرح داده شده است. با مراجعه مجدد به شکل ۳، اگر L را نقطه‌ای در نظر بگیریم که مقارنه در آن رخ می‌دهد و V بالاترین نقطه دایرة البروج باشد، کمان LV را روی استوا تصویر کنید. سپس قطعه تصویر شده، t را به عنوان متغیر برای جدول P_λ استفاده کنید که در هر دو زیج آمده است. مجموعه‌ای از نتایج برای $\varphi = 30^\circ$ و برای توزیعی از نقاط روی دایرة البروج و برای زمان‌هایی بعد از نصف‌النهار محلی، به عنوان عدد ردیف پنجم در خانه‌های جدول (ترکیبی) ۱ آمده است. همین داده‌ها در نمودار شکل ۴ برای P_λ برای ترسیم صفحه‌ای که با نمودار نقطه‌چین نشان داده شده، به کار رفته است. مانند مورد جدول کاشانی، مقادیر P_λ در جدول اصلی به جای درجه طول دایرة البروجی به صورت زمان مقارنه آمده است. در اینجا نیز برای ساده کردن مقایسه، مقادیر ما در جدول یک با تقسیم مقادیر زمان به دو به مقدار درجه تبدیل شده‌اند. اولین مشاهده‌ای که می‌توان داشت این است که مقادیر خوارزمی به روشنی با مقادیر کاشانی و همچنین با مقادیر دقیق محاسباتی تفاوت دارد. خصوصیت عمومی هر سه سطح مشابه است. سطح خوارزمی در اطراف نصف‌النهار دارای شیب تندتر است. از این رو، بدون حل مسئله اولیه در مورد جدول کاشانی، ما با مسئله جدیدی رو به رو شده‌ایم: پیدا کردن نظریه خوارزمی برای P_λ با استفاده از جدولش و با استفاده از دستورالعمل استفاده از آن.

نگاهی گذرا به شکل ۵ کافی است تا نشان دهد که با روشی تقریبی مواجهیم که خیلی بیشتر از آنچه در سوریاسدهانت آمده نادقیق است. چراکه تابع طول جدول‌بندی شده $P_\lambda(t)$ وابسته به یک متغیر منفرد t است، در حالی که الگوی سوریاسدهانتا، که خود تقریبی است، دو متغیر γ و $\overline{a_e}$ را به کار می‌برد.

ما دو فرض در مورد مبدع فرضی مدل خوارزمی مطرح می‌کنیم: (۱) این که او با روش درونیابی مثلثاتی که در بالا دیدیم آشنا بوده و می‌توانیم اطمینان داشته باشیم که او می‌توانسته آن را هر جا که مناسب بوده به کار ببرد. (۲) این که به جای اندازه‌گیری فواصل شرقی-غربی در طول سماوی، او اندازه‌گیری فواصل بر حسب زمان، یعنی تصویر طول سماوی بر روی استوای سماوی را ترجیح داده‌است.

حال با آزمودن منحنی تابع $P_{\lambda}(t)$ خوارزمی، متوجه می‌شویم که نمودار از مبدأ آغاز می‌شود، شیب به صورت مداوم کاهش می‌یابد تا دقیقاً در $t = 66^{\circ}$ یا نزدیک به آن به بیشینه $1;36^h$ می‌رسد. از آنجا نمودار با یک سرعت افزاینده سقوط می‌کند. بیشترین مقدار t که P_{λ} برای آن تعریف شده، 150° است، اما برون‌یابی بصری این احساس را می‌دهد که اگر منحنی ادامه یابد، محور افقی را در $t = 180^{\circ}$ یا نزدیک به آن قطع می‌کند. رفتار کلی منحنی شبیه رفتار یک موج سینوسی است که تحت انتقال افقی پیوسته‌ای قرار گرفته است چنان‌که مبدأ آن در صفر بدون تغییر مانده ولی نقاط میانی آن به سمت چپ منتقل شده‌اند به نحوی که بیشینه آن که در ابتدا در 90° بوده حدوداً 24° تغییر مکان داده است. وجود مؤلفه‌ای حدود 24° می‌تواند با یادآوری این که ε ، میل دایره البروج، در تبدیل مختصات دایره البروجی و استوایی نقش ایفا می‌کند توضیح داده شود. برای تعریف دقیق چنین انتقالی، برای مقادیر $0 \leq \theta \leq 150^{\circ}$ در نظر می‌گیریم:

$$t \equiv \theta - \varepsilon \sin \theta$$

سپس تابع مؤلفه طولی را به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

$$P_{\lambda}(t) \equiv 1;36 \sin \theta(t)$$

که به صورت ضمنی P_{λ} را به صورت تابعی از t نشان می‌دهد. این که این فرمول در عمل برای جدول خوارزمی معتبر است با محاسبه مجموعه‌ای از مقادیر P_{λ} و مقایسه آن با مقادیر زیج تأیید می‌شود. دو احتمال طبیعی برای مقدار ε وجود دارد. مقدار استفاده شده در زیج خوارزمی برای محاسبه جدول میل دایره البروجی (منبع [۱۴]، ص ۱۳۲-۱۳۷) برابر $23;51^{\circ}$ است. از طرف دیگر، جدول P_{λ} ، که برای هر عدد صحیح t تا سه رقم شصتگانی محاسبه شده‌است، یک مقدار بیشینه در $24;0^{\circ} - 90^{\circ}$ نشان می‌دهد، که به معنی مقدار $24;0^{\circ}$ برای ε است. این مقدار اخیر همان مقدار رایج در منابع هندی است. آزمون عددی از هر دو مقدار، در تمام موارد نتیجه‌ای نزدیک‌تر بر اساس مقدار $24;0^{\circ}$ به دست می‌دهد. از این رو این مقدار را باید به عنوان مقدار ε به کار رفته در جدول به حساب آورد. از آن‌جا که $4 \times 24 = 96 = 1;36$ ، فرمول بالا را می‌توان به این صورت بازنویسی کرد:

$$P_{\lambda}(t) \equiv 4\varepsilon \sin \theta(t)$$

این سؤال که چرا منجم فرضی ما اساساً این تابع را عرضه کرده است، بی پاسخ می ماند. شاید او متوجه شده بود که P_{λ} روی افق شرقی و غربی بیشینه، و در موقعیت میانی V صفر است (شکل ۵). بنابراین خواسته است درونیایی مثلثاتی را برای موقعیت های عام غیر از V و افق به کار ببرد. اما V به V' تصویر می شود که معمولاً به صورت نامتقارن نسبت به افق جا به جا می شود. بنابراین تابع درونیایی نیز باید نامتقارن باشد. دلیل این که چرا بیشینه انحراف باید برابر با ε باشد آشکار نیست. در حقیقت این یک انتخاب نامناسب است، اما تنها پارامتر اساسی در الگوی کروی است، در حالی که φ کاملاً نامعین است. در عمل، از آنجا که P_{λ} تنها تا 150° جدول بندی شده، اثر انحراف کاملاً از میان می رود، و کاربر مجبور است در دو سمت V' به صورت متقارن عمل کند.

۱۴. یک الگوریتم بازگشتی برای P_{λ}

نسخه استانبول زیج حبش (منبع [C]) دو بخش درباره نظریه گرفت دارد، یکی به همراه جداول، و احتمالاً برگرفته از مجسطی، دیگری بخشی همراه یک جدول و روشی که تنها چیزی که می توان در مورد آن با قطعیت گفت این است که بطلمیوسی نیست. این جدول نشان دهنده تابع $24 \sin \theta$ است که تا دو مرتبه شصتگانی برای هر درجه صحیح متغیر جدول بندی شده است. چنین جدولی می تواند برای یافتن میل تقریبی (به ازای $\varepsilon = 24^{\circ}$) به کار رود، و در متن نیز به همین ترتیب به کار رفته است، در حالی که در عنوان جدول تنها «اختلاف منظر» آمده، و در تمام متن از آن به عنوان جدول اختلاف منظر ماه یاد شده است.

اینجا تنها به جزئیات آن بخش از محاسبات کسوف که به بحث ما مربوط می شود می پردازیم. متن زیج حبش نحوه تعیین a_e معدل به روشی را توصیف می کند که در اساس چندان با روش خوارزمی و ابن شاطر متفاوت نیست. سپس مؤلف می گوید که با این a_e معدل وارد جدول اختلاف منظر می شویم. مقدار متناظر تابع را دو برابر می کنیم و حاصل به جای درجات، دقایق خوانده می شود. این دقایق مؤلفه اختلاف منظر ماه عرضی خواهد بود. با نمادگذاری امروزی، حاصل برابر خواهد بود با:

$$P_{\beta} \equiv 0; 48^{\circ} \sin a_e = 0; 24 \sin a_e$$

که همان نظریه سوریه سدها است، و بجز اختلافات کوچک مربوط به داده های اساسی، با روش خوارزمی و ابن شاطر یکی است.

روش تعیین مؤلفه طولی اختلاف منظر خیلی جالب است. در ابتدا t را به همان روش رایج تعیین می کنیم (شکل ۵). سپس آن را به عنوان متغیر در جدول اختلاف منظر به کار می بریم. مقدار حاصل از جدول را اختلاف منظر اول می نامیم؛ آن را به t اضافه می کنیم و با حاصل جمع به عنوان

متغیر به جدول اختلاف منظر می‌رویم. مقدار حاصل از جدول را اختلاف منظر دوم می‌نامیم. این عملیات را تکرار می‌کنیم تا اختلاف منظر پنجم به دست بیاید. به صورت شگفت‌آوری این اختلاف منظر پنجم برابر یک چهارم اختلاف منظر طولی است که (مثل خوارزمی) بر حسب ساعت اندازه‌گیری شده است. با نمادگذاری امروزی، خواهیم داشت:

$$\theta_1(t) = t + \varepsilon \sin t$$

$$\theta_2(t) = t + \varepsilon \sin \theta_1(t)$$

.....

$$\theta_n(t) = t + \varepsilon \sin \theta_{n-1}(t)$$

و در نهایت

$$P_\lambda(t) = \varepsilon \sin \theta_p(t)$$

در حقیقت سری توابع $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n, \dots$ به $\theta(t)$ میل می‌کند، و این میل به یک مقدار مشخص دلالت بر برقراری معادله زیر دارد

$$\theta(t) = t + \varepsilon \sin \theta(t)$$

که در بخش قبل به آن اشاره شد. بنابراین دستورالعمل حبش، که می‌تواند به صورت نامحدود تکرار شود، دقیقاً به P_λ خوارزمی منتج شد. همگرایی این روش تکرار به قدر کافی سریع بوده است تا تنها بعد از پنج تکرار به تقریب مناسبی ختم شود. به منظور مقایسه، نتایج به دست آمده برای پنج مقدار t و با استفاده از جدول حبش که تا دو مرتبه شصتگانی محاسبه شده در زیر در کنار مقادیر مرتبط از جدول خوارزمی نشان داده شده است:

t	30°	60°	90°	120°	150°
حبش	۱؛۱۰،۵۶	۱؛۳۵،۲۸	۱؛۲۸،۵۲	۱؛۶،۱۲	۰؛۳۵،۸
خوارزمی	۱؛۱۱،۵	۱؛۳۵،۲۷	۱؛۲۸،۵۱	۱؛۶،۱	۰؛۳۴،۵۱

جدول ۳

طبق معمول، پاسخگویی به هر نکته تاریخی به جای پاسخ به سؤالات پیشین، سؤالات بیشتری را به همراه می‌آورد. چه کسی این رابطه بازگشتی شسته‌رفته را ابداع کرده است، و چه چیز او را وادار به این کار کرد؟ آیا از این روش برای محاسبه جدول P_λ در زیج خوارزمی استفاده شده است؟ به هیچ کدام از این سؤالات نمی‌توان اکنون جواب داد، اما در ارتباط با دومی می‌توانیم یادآور شویم که با فرض داشتن یک t ثابت، این دستورالعمل بازگشتی یک روش مستقیم برای یافتن P_λ عرضه می‌کند. از طرف دیگر، تعریف ما در بخش ۱۳ مقاله حاضر تنها امکان به دست آوردن t و P_λ بر حسب یک θ دلخواه را تصدیق می‌کند. این یک نکته منفی خواهد بود اگر بخواهیم بازه‌ای کامل از P_λ را به دست بیاوریم، چنان‌که در محاسبه یک جدول انتظار داریم، در قیاس با این‌که بخواهیم

داده‌های یک گرفت تنها را محاسبه کنیم. علاوه بر این، این روش بازگشتی شامل پنج مرحله محاسبه می‌شود؛ در حالی که روش دیگر تنها شامل یک محاسبه می‌شود.

۱۵. نتیجه

آنچه در این مقاله عرضه شد تقریباً همه منابع در دسترس درباره نظریه اختلاف منظر در دوره اسلامی را در بر می‌گیرد. این که بحث از خود موضوع اختلاف منظر ناتمام مانده است مربوط به این امر می‌شود که توضیحی برای جدول کاشانی که آغازگر جستجوی ما بود یافت نشد. تنها پانزده مورد از زیج‌هایی که از وجودشان اطلاع داریم بررسی شد و بر پایه این بررسی چند نتیجه کلی می‌توان گرفت. اولین زیج‌های دوره اسلامی بر پایه آن چه ما روش‌های هندی می‌خوانیم قرار داشته‌اند، اگرچه بی‌تردید عناصر یونانی پیشاطلمیوسی و ایرانی ساسانی نیز نقش داشته‌اند. در دوره عباسی این روش‌های هندی جای خود را به جداول و نظریات بطلمیوسی (از طریق جداول مفید تئون) داد. برخی مفاهیم هندی مانند عرض اقلیم رؤیت همچنان حفظ شد، و توابع و نظریات مثلثاتی پس از انتقال از فرهنگ‌های دیگر یا توسعه یافتن در نجوم دوره اسلامی بلافاصله به صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفت. در حالی که نویسندگان بیشتر زیج‌ها چنان که دیدیم به جداول اختلاف منظر تئون بسنده کردند، منجمان بلندپروازتر جداولی را بر اساس همان نظریه ولی با تطابق بهتر با موقعیت جغرافیایی خود تدوین کردند. همچنین گرایشی در سراسر نجوم دوره اسلامی به فراهم آوردن جداول دقیق‌تر و مفصل‌تر برای مؤلفه‌های اختلاف منظر مشاهده می‌شود که با زیج سلطانی الغیبیگ به حد اعلای خود رسید.

کتابشناسی آثار منتشرشده:

1. Barthold, W. "Ulug Beg und seine Zeit," Deutsche Bearbeitung von W. Hinz, Abhand. für d. Kunde d. Morgenlandes, *Deutsche morgenländische Gesellschaft*, 21 Bd., Nr. 1, Leipzig, 1935.
2. Burgess, E. "Sūrya-Siddhānta," *Journal of the American Oriental Society* (1860), reprinted University of Calcutta, 1935.
3. *Composition Mathématique* de Claude Ptolémée, trad. par M. Halma et suivie des notes de M. Delambre. 2 vols. Paris, 1813-1816 (reprinted Paris, 1927).
4. Halma, M. *Commentaire de Théon d'Alexandrie sur le livre III de l'Almageste de Ptolémée*. 3 parts, Paris, 1822-25.
5. Kary-Niyazov, T. N. *Astronomicheskaya Shkola Ulugbeka*. Moscow, 1950.
6. Kennedy, E. S. "A Fifteenth-Century Planetary Computer. I. Motion of the Sun and Moon in Longitude," *Isis*, 1950, vol. 41: pp. 180-183; "II. Longitudes, Distances, and Equations of the Planets," *Isis*, 1952, vol. 43: pp. 42-50.
7. ——— "An Islamic Computer for Planetary Latitudes," *Journal of the American Oriental Society*, 1951, vol. 71: pp. 13-21.
8. ———; Transue, W. R. "A Medieval Iterative Algorithm," to appear in an early issue of the *American Mathematical Monthly*.

9. Luckey, P. "Die Rechenkunst bei Ġamšīd b. Mas'ūd al-Kāšī," *Deutsche morgenländische Gesellschaft*. Wiesbaden, 1951.
10. ———, *Der Lehrbrief über den Kreisumfang von Ġamšīd b. Mas'ūd al-Kāšī*. Berlin: Akademie-Verlag, 1953.
11. Nallino, C. A. *Al-Battānī sive Albatēnii Opus Astronomicum*. 3 vols., Milan, 1899-1907.
12. Neugebauer, O. "Mathematical Concepts in Ancient Astronomy," *Bulletin American mathematical Society*, 1948, vol. 54: pp. 1013-1041.
13. Sédillot, L. A. *Prolégomènes des Tables Astronomiques d'Oloug-Beg*. Paris, 1847.
14. Suter, H. *Die astronomischen Tafeln des Muḥammed ibn Mūsā al-Khwārizmī in Bearbeitung des Maslama ibn Aḥmed al-Madjrīṭī und der Latein. Übersetzung des Athelhard von Bath*. Copenhagen, 1914.

کتابشناسی نسخه‌های خطی:

- A. زیچ خاقانی، غیاث‌الدین جمشید کاشانی، مجموعه دیوان هند کتابخانه بریتانیا، شماره ۴۳۰ (اته، ۲۲۳۲)، که به اشتباه به عنوان نسخه‌ای از زیچ الغ بیگ فهرست شده است.
- B. زیچ خاقانی، غیاث‌الدین جمشید کاشانی، مجموعه ایاصوفیه کتابخانه سلیمانیه استانبول، شماره ۲۶۹۲.
- C. زیچ حبش حاسب، مجموعه مسجد جامع نو (ینی جامع) کتابخانه سلیمانیه استانبول، شماره ۷۸۴/۲.
- D. زیچ محمد علی خواجه شمس منجم وابکنوی، مجموعه ایاصوفیه کتابخانه سلیمانیه استانبول، شماره ۲۶۹۴.
- E. نسخه شماره ۷۵ در فهرست توصیفی نسخه‌های فارسی، ترکی، و هندی در کتابخانه دانشگاه پرینستون، انتشارات دانشگاه پرینستون، ۱۹۳۹ م.
- F. سلم السماء، غیاث‌الدین جمشید کاشانی، مجموعه ولی‌الدین افندی، کتابخانه دولتی بایزید استانبول، شماره ۲۳۲۴/۵.
- G. زیچ سلطانی الغ بیگ، مجموعه پوکوک کتابخانه بادلیان آکسفورد، شماره ۲۲۶.
- H. الزیچ الجديد ابن شاطر، مجموعه شلدون کتابخانه بادلیان آکسفورد، شماره ۳۰.
- I. الزیچ الممتحن، کتابخانه اسکوریال، مجموعه نسخه‌های عربی، شماره ۹۲۷.
- J. الزیچ الجامع کوشیار گیلانی، مجموعه نسخه‌های شرقی کتابخانه دانشگاه لیدن، شماره ۱۰۵۴.
- K. زیچ ایلخانی خواجه نصیرالدین طوسی، مجموعه هاتینگتون کتابخانه بادلیان آکسفورد، شماره ۱۴۳.
- L. الزیچ السنجرى عبدالرحمان خازنی، مجموعه نسخه‌های عربی کتابخانه واتیکان، شماره ۷۶۱.
- M. زیچ حبش حاسب، مجموعه اول و ترستاین کتابخانه دولتی برلین، شماره ۹۰ (شماره ۵۷۵۰ فهرست آلوارث).