journal for the History of Science
Print issn: 1735-0573 ● Online issn: 2717-1965
University of Tehran

A Comparison between *Zīj-i Yamīnī*'s Analemma for the Determination of the Qibla Direction with the Works of Ḥabash al-Ḥāsib and al-Bīrūnī

Maedeh Hosseinzadeh✉
https://orcid.org/0009-0008-7486-3614
M.A. in History of Science, Institute for the History of Science, University of Tehran. E-mail: msh.hosseinzadeh@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 23 August 2023
Received in revised form 28 October 2023
Accepted 21 November 2023
Published online 1 December 2023

Keywords:
Analemma, al-Bīrūnī, Qibla, Ḥabash al-Ḥāsib, *Zīj-i Yamīnī*

ABSTRACT

Determining Qibla direction was one of the most popular topics in Islamic astronomy. Muslim astronomers have proposed various methods to determine Qibla, approximate or accurate. One of the most accurate methods for determining Qibla was the Analemma technique. This method turns the three-dimensional problem of the sphere (Earth or celestial sphere) into a two-dimensional plane through a geometrical construct to facilitate the question. In *Zīj-i Yamīnī*, the second oldest known Persian *Zīj* composed by Mūḥammad ibn Abū Naṣr al-Ḥaqāyiqī in the 12th century AD, two analemma models for the determination of the Qibla direction are proposed. In this paper, two models are first discussed and completely drawn, then they are compared with other analemma models mentioned in the works of Ḥabash al-Ḥāsib and al-Bīrūnī.

Cite this article: Hosseinzadeh, M. (2023 A Comparison between *Zīj-i Yamīnī*'s Analemma for the Determination of the Qibla Direction with the Works of Ḥabash al-Ḥāsib and al-Bīrūnī. *Journal for the History of Science*, 21 (1), 31-50.
DOI: http//doi.org/ 10.22059/JIHS.2023.364238.371756

© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.

تاریخ علم
شاپا الکترونیکی: ۱۹۶۵-۲۷۱۷ ● شاپا چاپی: ۰۵۷۳-۱۷۳۵

روش‌های ترسیمی (آنالما) برای تعیین جهت قبله در *زیج یمینی* و مقایسهٔ آن‌ها با روش‌های موجود در آثار حبش حاسب و ابوریحان بیرونی

مائده حسین‌زاده✉

https://orcid.org/0009-0008-7486-3614

کارشناس ارشد تاریخ علم، پژوهشکدهٔ تاریخ علم دانشگاه تهران ، ایران. رایانامه: msh.hosseinzadeh@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۸/۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۳۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۹/۱۰

چکیده

یکی از مهم‌ترین موضوعات در نجوم دورهٔ اسلامی قبله و قبله‌یابی بوده است. با توجه به اهمیت این موضوع دانشمندان این دوره با توصیف‌های هندسی و تعریف‌های ریاضی، روش‌های مختلف ریاضی، مثلثاتی و ترسیمی برای تعیین تقریبی یا دقیق جهت قبله عرضه کردند. در بیشتر *زیج*های دورهٔ اسلامی نیز به این موضوع پرداخته شده است. *زیج*ها آثار کاربردی نجوم دورهٔ اسلامی هستند که عمدتاً شامل جدول‌های نجومی و توضیحاتی در بارهٔ روش استفاده از آن‌ها می‌شوند. به طور معمول در کنار مطالب نجومی زیج‌ها، چندین روش برای تعیین جهت قبله عرضه می‌شد، یکی از رایج‌ترین آن‌ها، روشی مثلثاتی منسوب به روش *زیج*ها است. از دقیق‌ترین روش‌های تعیین جهت قبله، روش آنالما است. به آن دسته از روش‌های هندسهٔ توصیفی که در آن مسألهٔ سه بعدیِ سطح کره روی صفحه ترسیم و حل می‌شوند «آنالما» می‌گویند. منجمان دورهٔ اسلامی با تعیین زاویهٔ انحراف قبلهٔ محلی روی کرهٔ زمین و سپس کرهٔ آسمان و تسطیح آن روی دایره، آنالماهایی به منظور یافتن جهت قبله عرضه کردند که در برخی از *زیج*ها نیز به آن پرداخته شده است. در *زیج یمینی*، دومین *زیج* فارسی شناخته‌شده از لحاظ قدمت، در کنار روش‌های معمول *زیج*ها برای تعیین قبله، دو آنالما هم آمده است. این مقاله پس از بررسی و ترسیم آنالماهای *زیج یمینی*، به مقایسهٔ آن‌ها با آنالماهای موجود در آثار حبش حاسب و ابوریحان بیرونی می‌پردازد.

کلیدواژه‌ها:

آنالما، ابو ریحان بیرونی، حبش حاسب، *زیج یمینی*، قبله.

استناد: حسین‌زاده، مائده. (۱۴۰۲ش). روش‌های ترسیمی (آنالما) برای تعیین جهت قبله در *زیج یمینی* و مقایسهٔ آن‌ها با روش‌های موجود در آثار حبش حاسب و ابوریحان بیرونی. *تاریخ علم*، ۲۱ (۱)، ۳۱-۵۰.

DOI: http//doi.org/ 10.22059/JIHS.2023.364238.371756

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان.

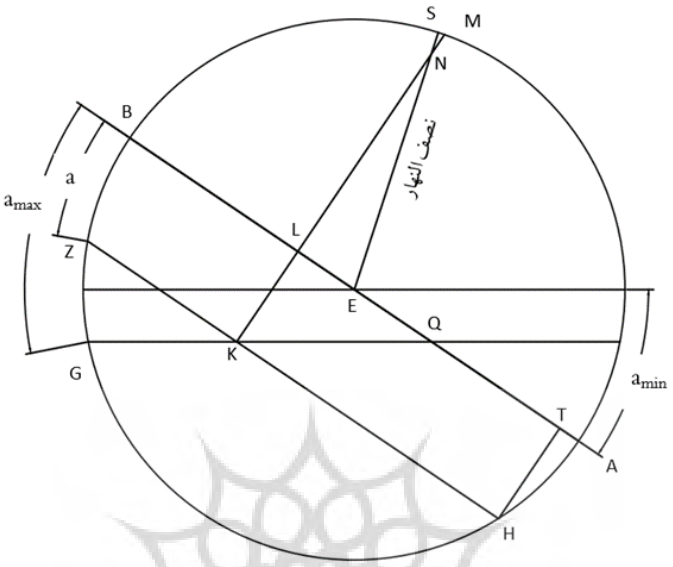
مقدمه

آنالما روشی هندسی بر پایهٔ ترسیم است که در دوران باستان به‌منظور حل مسائل نجومی و جغرافیایی استفاده می‌شد. مسائل سه بعدی سطح کره با به‌کار گرفتن روش آنالما به مسائل دو بعدی روی یک صفحه تبدیل می‌شوند. ساختار آنالما به گونه‌ای است که نماهای مختلف (نمای بالا، نمای جانبی و نمای روبه‌رو) یک مسأله در یک صفحه و روی یک دایرهٔ مرجع جمع می‌شوند. کمان‌های مورد نظر روی کره، مرحله به مرحله با انتقال و یا چرخش، به دایرهٔ مرجع اضافه می‌شوند تا در نهایت کمان مجهول به دست آید (Van Brummelen, 2009: 66). مسائل نجوم کروی به کمک آنالما، به جای استفاده از محاسبات و روابط مثلثات کروی پیچیده، ساده‌تر حل می‌شوند (موسوی، ۱۳۹۳، ۴۶). امروزه این دست روش‌ها در شمار روش‌های «هندسهٔ توصیفی»[1] دسته‌بندی می‌شوند.

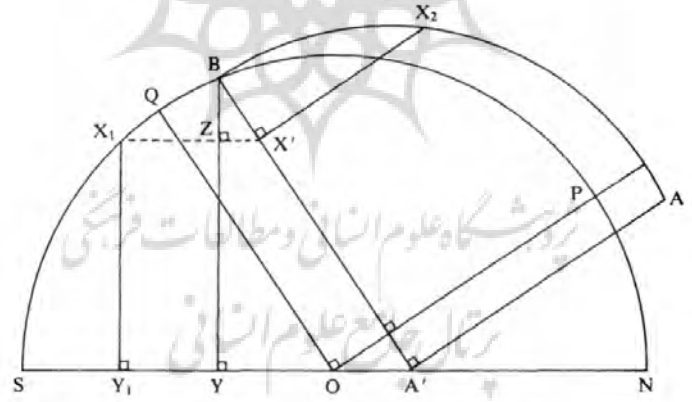
با مطالعهٔ پیشینهٔ مثلثات و نجوم کروی، ردپای استفاده از روش آنالما در حل مسائل نزد ریاضی‌دانان یونانی به چشم می‌خورد. وجود روش آنالما در نظریهٔ ساعت‌های آفتابی نیز شاهد آشنایی یونانیان با این روش است (Neugebauer, 1975: 301). حداقل در سه متن متعلق به دورهٔ یونان باستان به آنالما پرداخته شده است: ۱) بخش‌هایی از مقالهٔ نهم *در بارهٔ معماری* از ویتروویوس[2] (سدهٔ ۱ق‌م)، که در آن به آنالمای به‌کار رفته در ساعت‌های آفتابی اشاره شده است (Sidoli, 2005: 237)؛ ۲) فصل ۳۵ رسالهٔ *در دیوپترا*[3] از هرون اسکندرانی (سدهٔ ۱م)، که در بارهٔ شرح ابزاری با همین نام است. در این فصل برای به‌دست آوردن فاصلهٔ میان دو شهر با کمک رصد یک ماه‌گرفتگی از آنالما استفاده شده است (Drachmann,1972: 312؛ نک: Sidoli, 2005)؛ ۳) رسالهٔ *آنالما* از بطلمیوس (سدهٔ ۲م) که در آن به طور ویژه به شرح روش آنالما، تعیین تصویر موقعیت خورشید و کاربرد آنالما در ساعت‌های آفتابی می‌پردازد. گواهی از ترجمهٔ عربی این رساله در دست نیست (معصومی همدانی،۱۳۸۳: ۲۵۴؛ نک: Sidoli, 2020). شواهد حاکی از آن است که منجمان دورهٔ اسلامی به خوبی با روش آنالما آشنا بودند. ابوریحان بیرونی در رسالهٔ *إفراد المقال فی أمر الظلال* به روش آنالما منسوب به دیدروس[4] اشاره می‌کند، به نظر می‌آید دانشمندان دورهٔ اسلامی دست کم با رسالهٔ *آنالما* از دیدروس اسکندارنی آشنا بودند (قلندری،۱۴۰۰: ۱۳۹). در دورهٔ اسلامی برای حل مسائلی چون زمان‌سنجی، تعیین نصف النهار و تعیین جهت قبله از آنالما استفاده می‌کردند (نک: قلندری، ۱۴۰۰).

---

1. Descriptive geometry
2. Vitruvius
3. On Dioptra
4. Diodorus



شکل ۱. آنالمای به کار رفته در *زیج یمینی* برای تعیین نصف النهار مکان با دانستن ارتفاع خورشید (الحقایقی، ۱۸۹–۱۹۰).



شکل ۲. نمونه‌ای از آنالما برای زمان‌سنجی در دورهٔ اسلامی. با کمک این آنالما به رابطه‌ای برای یافتن زاویهٔ ساعتی با داشتن ارتفاع می‌توان دست یافت (نک: King, 1996, 173-174).

اهمیت تعیین جهت قبله در میان مسلمانان باعث شد تا در بیشتر زیج‌های دورهٔ اسلامی بخشی به این موضوع اختصاص یابد و نتیجهٔ آن عرضهٔ روش‌های متفاوت برای محاسبهٔ سمت قبله شد. منجمان مسلمان از سدهٔ دوم هجری موضوع تعیین قبله را به عنوان مسأله‌ای در جغرافیای ریاضی بررسی

کردند. نخستین راه حل‌ها، تقریبی و کاربردی و بر مبنای ملاحظات نقشه‌نگاری بودند. از سدهٔ سوم هجری روش‌هایی دقیق با استفاده از مثلثات کروی و هندسهٔ ترسیمی عرضه شد (King,1999:56-58). در میان آثار منجمان متقدمی چون حبش حاسب (زندگی: سدهٔ ۳ق)، ابن هیثم (زندگی: سدهٔ ۴ و ۵ق) و ابوریحان بیرونی (زندگی: سدهٔ ۴ و ۵ق) به‌کار گرفتن روش‌های آنالما برای تعیین جهت قبله دیده می‌شود. بیرونی در آثارش دو طریقِ آنالما برای تعیین جهت قبله عرضه می‌کند: یکی در *قانون مسعودی* و دیگری در *تحدید نهایات الاماکن*، بر اساس بررسی برگرن دو روش بیرونی برگرفته از آنالمای حبش است و در واقع این سه طریق را می توان یک روش آنالما دانست، طرح مسأله اما در طریق ابن هیثم متفاوت است (نک: Berggren,1980:69).

زیج یمینی نوشتهٔ محمد بن علی بن مالک بن ابی نصر الحقایقی در سال ۵۱۱ق به فارسی است. در این *زیج* هم به سیاق بیشتر *زیج‌ها* به موضوع تعیین جهت قبله پرداخته شده است. حقایقی در مقدمه و خاتمهٔ *زیج یمینی* هنگام اشاره به برخی مطالب مندرج زیج‌ها و هدف از نگارش آن‌ها، هر بار از مبحث پیدا کردن سمت قبله یاد می‌کند، برای مثال:

> از نوع این علم شریف و صُنع بدیع خدمتی سازم و تحفه‌ای طرازم و از زیجی که میان اهل این صناعت معروف‌تر و معتمدتر است ... و به زیج‌های مختصر که منجمان متأخر فراهم آورده‌اند و جمع کرده، اقتصار نموده و از آن عمل می‌کنند، تفاوت‌های عظیم می‌افتد خاصه در کسوف آفتاب و رؤیت ماه و سمت قبله کی ظاهرترین ابواب این علمست (حقایقی، ۱۴۰۰:۳).
>
> و این زیج را به نام خدمت مجلس اعلی یمینی امینی شرفی ادام اللّه اشرافه کنم تا همه‌کس از آثار بزرگی وی ثمرت یاوند و از روزگار دولت وی ثبتها اللّه نصیب گیرند و تقویم ستارگان و کسوفات و رؤیت ماه و سمت قبله و اعمال موالید ازین زیج بیرون آرند (الحقایقی، ۴).
>
> این کتاب به مبارکی و خجستگی برین باب ختم کردم و تمامت عمل‌هایی کی خداوندان این صناعت را به کار شود در اعمال تنجیم از درست کردن تواریخ و ... و سمت قبله و ... یاد کردم چندانک گمان بردم کی بسنده باشد و به کتاب دیگر حاجت نیوفتد (الحقایقی، ۳۱۷).

به نظر می‌آید حقایقی موضوع «سمت قبله» را از مهم‌ترین مباحث مطرح در *زیج‌ها* می‌دانست. و به همین دلیل یکی از ۵۰ باب این زیج را به این موضوع اختصاص داده و به تفصیل به آن پرداخته است و مجموعه‌ای از روش‌های تعیین جهت قبله را گرد آورده است. باب ششم از نوع چهارم این کتاب با عنوان «اندر دانستن سمت قبلهٔ هر شهری حسابی و صناعی» شامل شش روش در تعیین جهت قبله است که از میان سه روش صناعی (ترسیمی)، دو روش در زمرهٔ روش‌های آنالما به حساب می‌آیند.

با مطالعهٔ مقدمهٔ *زیج یمینی* این طور استنباط می‌شود که مرجع اصلی حقایقی *زیج صابی* از بتّانی (زندگی: سدهٔ ۳ و ۴ق) است. علاوه بر این نام بتّانی ۱۹ بار در اثنای این *زیج* آمده است (نک: حسین‌زاده، ۱۴۰۱). هم‌چنین حقایقی در خاتمهٔ *زیج یمینی* از *قانون مسعودی* بیرونی به عنوان یکی از منابع (اصل) کارش یاد می‌کند. با توجه به این‌که حقایقی در فاصله‌ای کمتر از ۵۰ سال پس از بیرونی با دربار غزنه در ارتباط بوده است، به‌احتمال بسیار علاوه بر *قانون مسعودی* به سایر آثار بیرونی نیز دسترسی داشته است.

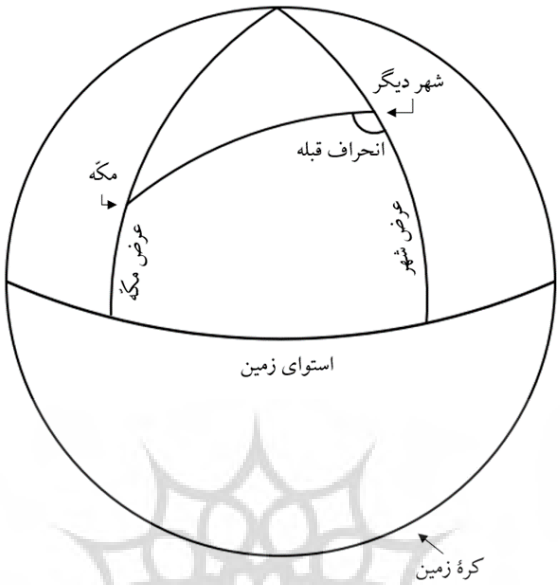
> ... از بهر تمامت کتاب تا ناقص نباشد، از قانون مسعودی و دیگر اصل‌ها تحویل کردم و مؤامرهٔ آن را به پارسی باز نمودم (الحقایقی، ۳۱۷).

حقایقی در متن *زیج یمینی* گاهی از آثار و رصدهای منجمان پیشین، از جمله حبش حاسب نام برده است.

با توجه به موارد گفته شده برای یافتن مرجع دو آنالمای یاد شده برای تعیین قبله در *زیج یمینی*، منابع متقدم و احتمالی آن بررسی شد. در این میان در آثار بیرونی و حبش حاسب روش‌هایی مشابه برای تعیین قبله یافت شد. در این مقاله ضمن بررسی روش‌های آمده در *زیج یمینی* به مقایسهٔ آن‌ها با روش‌های پیشین پرداخته می‌شود. پیش از بررسی این دو آنالمای *زیج یمینی* نیاز است که مسألهٔ قبله به لحاظ ریاضی و هندسی تعریف شود.

تعریف ریاضی مسألهٔ قبله

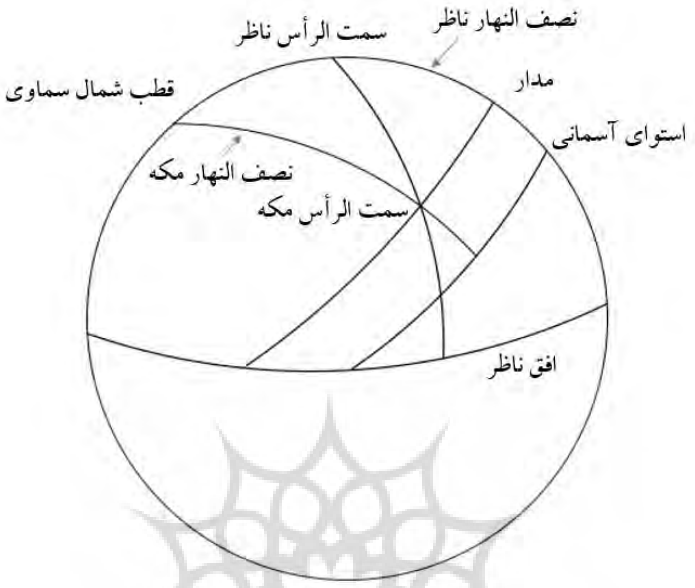
دانشمندان اسلامی با داشتن مختصات شهرها (طول و عرض جغرافیایی) و دانستن موضع آن‌ها روی کرهٔ زمین تعریفی ریاضی برای قبله عرضه کردند. آن‌ها زاویهٔ میان نصف النهار گذرنده از شهر مورد نظر و دایرهٔ عظیمهٔ گذرنده از شهر مکّه و آن شهر را «انحراف قبله» در نظر گرفتند (شکل ۳). کمان دایرهٔ عظیمهٔ گذرنده بین دو شهر کوتاه‌ترین مسیر میان آن‌هاست. اگر ناظر در شهر مورد نظر به سمت جنوب بایستد و به اندازهٔ انحراف قبله، با توجه به شرقی یا غربی بودن شهر نسبت به مکّه، به سمت غرب یا شرق بچرخد، رو به مکّه ایستاده است (King,1999:56).



شکل ۳. تعیین قبله

جهت قبله بر سطح افق ناظر مشخص می‌شود، پس لازم است مسأله را از سطح کرهٔ زمین و به کرهٔ سماوی و آسمان ناظر در شهر مورد نظر منتقل کنیم (شکل ۴). امتداد شهر در کرهٔ آسمان، سمت الرأس ناظر است و امتداد مکّه، سمت الرأس مکّه. نقطه‌ای از آسمان که بالای سر ناظر قرار دارد و بر صفحهٔ افق عمود است، «سمت الرأس» نامیده می‌شود. نصف النهار مکان (دایرهٔ عظیمهٔ گذرنده از قطب شمال سماوی و سمت الرأس) در امتداد نصف النهار گذرنده از شهر ناظر است. حال با پیدا کردن نصف النهار گذرنده از مکّه و سپس پیدا کردن سمت الرأس مکّه در آسمان ناظر روی مدار روزانهٔ گذرنده از مکّه با توجه به عرض جغرافیایی مکّه و تصویر این نقطه روی صفحهٔ افق می‌توانیم جهت قبله را پیدا کنیم. به این ترتیب مسئلهٔ قبله به یک مسئلهٔ نجوم کروی تبدیل شد. منجمان دورهٔ اسلامی برای حل این مسئله روش‌های تقریبی محاسباتی، روش‌های دقیق مثلثاتی و آنالما را عرضه کردند. یکی از دقیق‌ترین روش‌های محاسبهٔ سمت قبله روشی مثلثاتی معروف به روش *زیج‌ها* است[۱] (نک: King, 1999:61-64).

۱. برای مطالعهٔ بیشتر در مورد روش‌های تقریبی و دقیق تعیین قبله: نک: موسوی، ۳۲–۵۵: ۱۳۹۳.



شکل ۴. مسألهٔ قبله در آسمان ناظر

یکی از روابط دقیقی که برای محاسبهٔ زاویهٔ انحراف قبله عرضه شد، رابطهٔ زیر است:

(φ: عرض جغرافیایی ناظر، φ_m: عرض جغرافیایی مکّه، Δl: تفاوت طول جغرافیایی دو شهر، q: انحراف قبله)

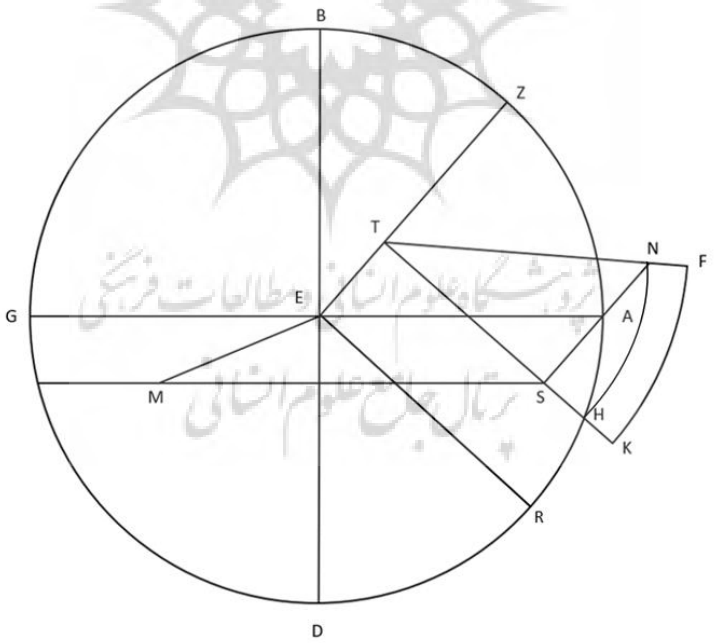
$$cotq = \frac{cos\Delta l sin\varphi - cos\varphi tan\varphi_m}{sin\Delta l} \quad (\text{رابطهٔ ۱})$$

سایر روش‌ها و روابط دقیق عرضه شده در دورهٔ اسلامی، در واقع معادل‌های ریاضی رابطهٔ اخیر هستند (King, 1999:60).

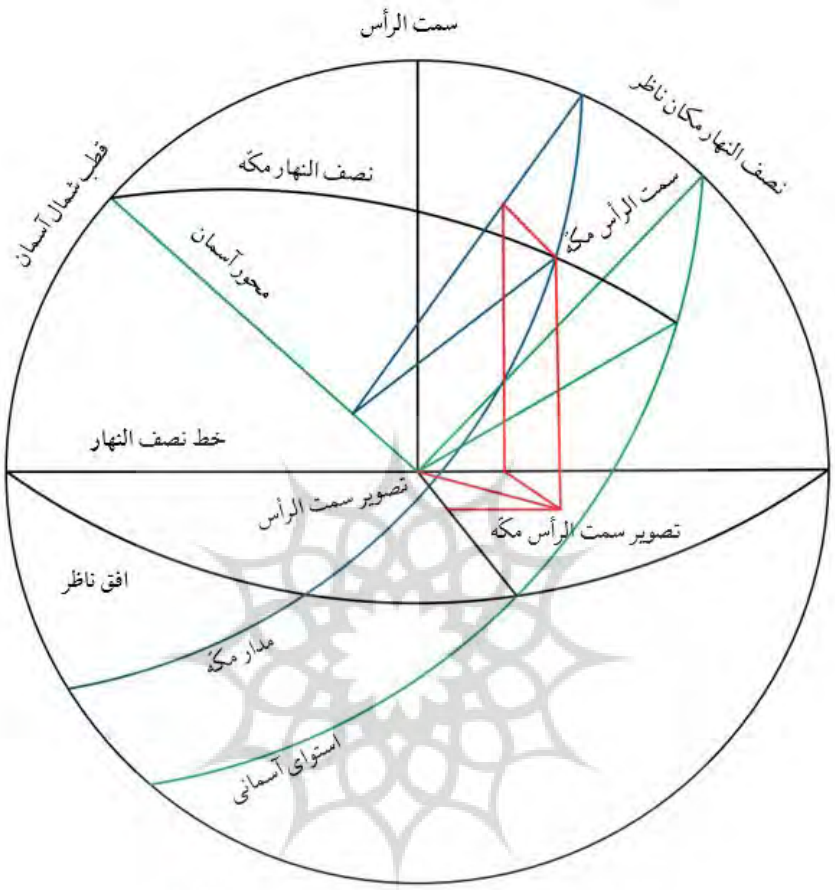
آنالمای اول زیج یمینی

مطابق شکل ۵ دایرهٔ ABGD را به مرکز E روی یک سطح صاف رسم می‌کنیم. اگر از بیرون کرهٔ آسمان و از منظر بالا به آن نگاه کنیم. دایرهٔ ABGD نشان‌گر دایرهٔ افق است. A به منزلهٔ نقطهٔ شرق، B نقطهٔ شمال، G غرب، D جنوب و E تصویر سمت الرأس شهر مورد نظر روی افق است. حال اگر از روبه رو به کرهٔ آسمان نگاه کنیم، نیم‌دایرهٔ سمت راست (BAD) نشان‌گر نصف النهار مکان ناظر است. از نقطهٔ شمال به سمت شرق کمان BZ را برابر با عرض جغرافیایی شهر جدا می‌کنیم، Z به منزلهٔ قطب شمال آسمان و EZ نشان‌دهندهٔ محور عمود بر استوای آسمانی (ER) از

نمای روبه‌رو است. سپس از نقطهٔ Z کمان ZH را برابر با متمم عرض جغرافیایی مکّه در جهت شرق جدا می‌کنیم. سپس خط HT را عمود بر EZ رسم می‌کنیم، HT نشان‌دهندهٔ مدار موازی استوا (مدار روزانهٔ مکّه) است، سمت الرأس مکّه روی این مدار قرار دارد. HT را تا نقطهٔ K خارج از محیط دایره ادامه می‌دهیم. حال کمان KF را به مقدار تفاضل طول جغرافیایی دو شهر و به مرکز T و شعاع دایرهٔ اولیه رسم می‌کنیم، KTF قطاعی روی صفحهٔ استوای آسمانی و نشان‌دهندهٔ فاصلهٔ نصف‌النهارهای دو شهر روی استوا است؛ روی خط FT، TN را به‌اندازهٔ TH جدا می‌کنیم THN قطاعی روی صفحهٔ مدار موازی استوای آسمانی است. و سپس از نقطهٔ N عمودی بر خط TH رسم می‌کنیم، نقطهٔ به دست آمده را S می‌نامیم که نشان‌گر سمت الرأس مکّه است. خط BD در این مرحله نشان‌دهندهٔ خط نصف النهار روی افق است و فصل مشترک میان دایرهٔ نصف النهار مکان (دایرهٔ سمت راست) و دایرهٔ افق (دایرهٔ سمت چپ) است. از S خطی به موازات AG رسم می‌کنیم. و از تقاطع آن با خط نصف النهار به اندازهٔ NS پیش می‌رویم، نقطهٔ به دست آمده (M) تصویر سمت الرأس مکّه روی افق است و خط EM نشان‌دهندهٔ جهت قبله است (نک: الحقایقی، ۱۹۶–۱۹۵: ۱۴۰۰). برای درک بهتر این مسأله در کنار آنالما (شکل ۵) شکل سه بعدی (شکل۶) آمده است.

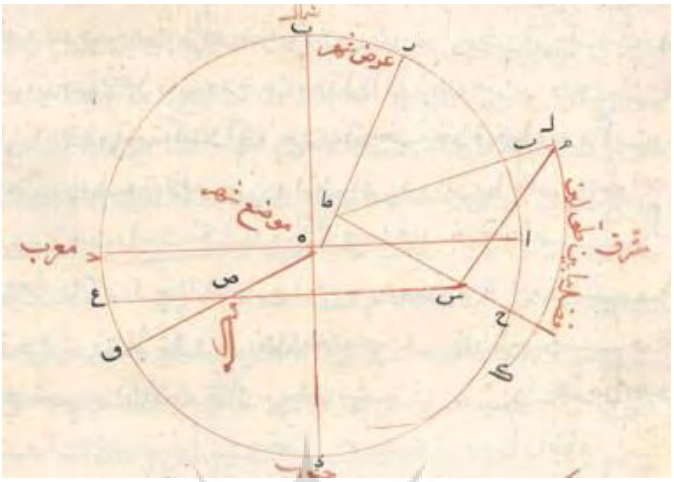


شکل۵. آنالمای اول زیج یمینی



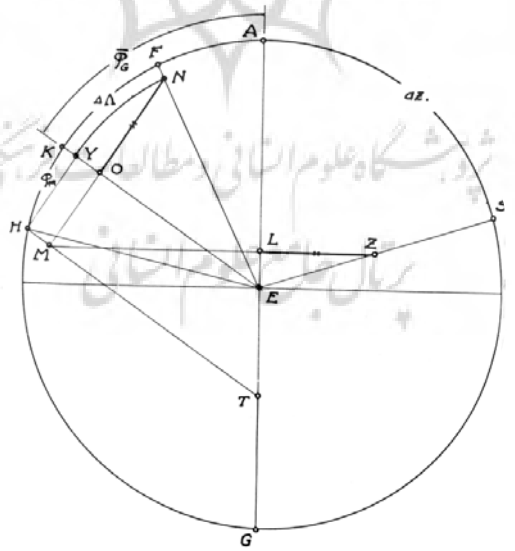
شکل ۶. شکل مجسم و سه بعدی مسأله

مراحل ابتدایی این روش مشابه آنالمایی است که در *قانون مسعودی* بیرونی آمده بود، یعنی ترسیم از نقطهٔ جنوب و با جدا کردن قوس‌هایی برابر با عرض جغرافیایی شهر و متمم عرض جغرافیایی مکّه، به ترتیب، شروع شده است، اما پس از این، یعنی در مراحل مربوط به اعمال طول جغرافیایی و پیدا کردن نقطهٔ نهایی تصویر شهر مکّه، مشابه *تحدید نهایات* عمل کرده است (شکل ۷) و اندکی در ترتیب مراحل متفاوت است. در *زیج یمینی* تنها مراحل ترسیمی آمده است و هیچ شرحی برای درک این ترسیم گفته نشده است، به همین دلیل خطوطی که در یافتن نقطهٔ نهایی بی تأثیر بودند، حذف شده‌اند (برای مراحل کار *تحدید نهایات* به تفصیل نک: al-Bīrūnī,1967: 249-253).



تصویر ۱. تصویر آنالمای اول در نسخهٔ بلغارستان *زیج یمینی* گ ۵۴پ

مثلاً از خطی که نشان‌دهندهٔ استوای آسمانی است یاد نشده است (در اینجا برای درک بهتر این خط مشخص شد)، اما در *تحدید نهایات* ترسیم از خط استوا شروع می‌شود . این روش در شرحی که استوارت کندی بر *تحدید نهایات* نوشته به تفصیل بررسی شده است. به عقیدهٔ کندی این روش که بر پایهٔ مثلث‌های روز و زمان، در داخل کره محقق شده، ممکن است برگرفته از روشی سنتی و نجوم هندی باشد (نک: Kennedy,1973,209-211).



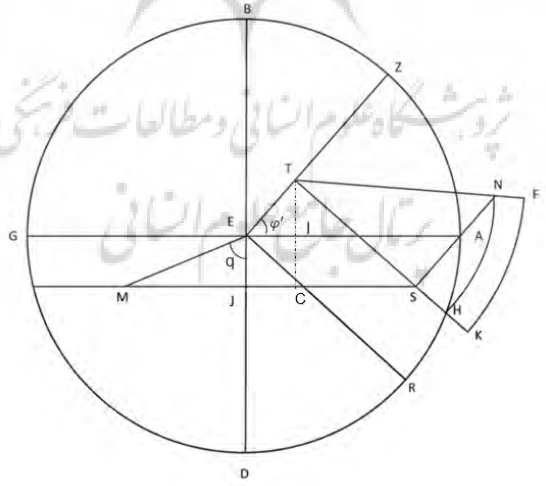
شکل ۷. آنالمای *تحدید النهایات الاماکن* (Kennedy,1973,210)

اثبات مثلثاتی روش اول

به‌منظور محاسبهٔ زاویهٔ انحراف قبله (q) باید ضلع‌های EJ و MJ در مثلث EMJ را به دست بیاوریم (شکل ۸). با توجه به توضیح‌های آمده در روش، ضلع MJ برابر SN است. حال برای محاسبهٔ ضلع دیگر خط‌چین TC را رسم می‌کنیم، IC با EJ برابر است. شعاع دایرهٔ مرجع را یک واحد درنظر می‌گیریم، حال داریم:

$$\widehat{RH} = \varphi_m \, , ER = ۱$$
$$TH = ERcos\varphi_m \, , TS = THcos\Delta l \, , SN = THsin\Delta l$$
$$\widehat{ZEA} = \varphi' = ۹۰ - \varphi \, , TC = TSsin\varphi$$
$$TC = \ cos\varphi_m cos\Delta l sin\varphi$$
$$TE = sin\varphi_m \, , TI = sin\varphi_m cos\varphi$$
$$IC = \ TC - TI$$
$$\Delta \, EJM:$$
$$EJ = IC \, , JM = SN, \widehat{MEJ} = q$$
$$cotq = \frac{EJ}{JM} = \frac{cos\varphi_m cos\Delta l sin\varphi - sin\varphi_m cos\varphi}{cos\varphi_m sin\Delta l}$$
$$cotq = \frac{cos\Delta l sin\varphi - tan\varphi_m cos\varphi}{sin\Delta l}$$

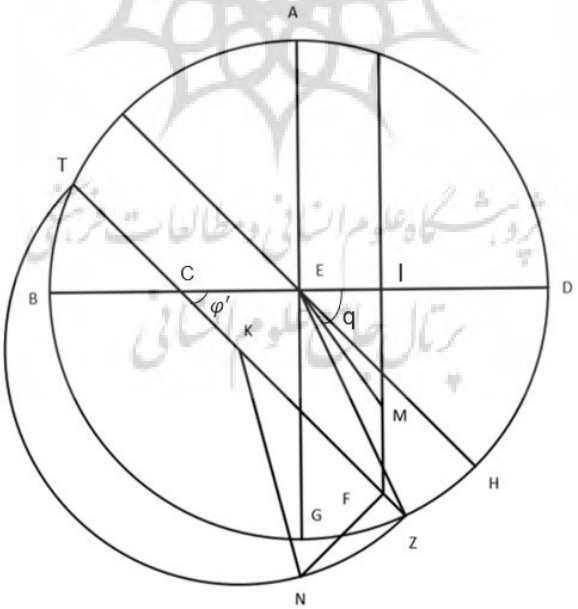
و این همان رابطهٔ ۱ است.



شکل ۸

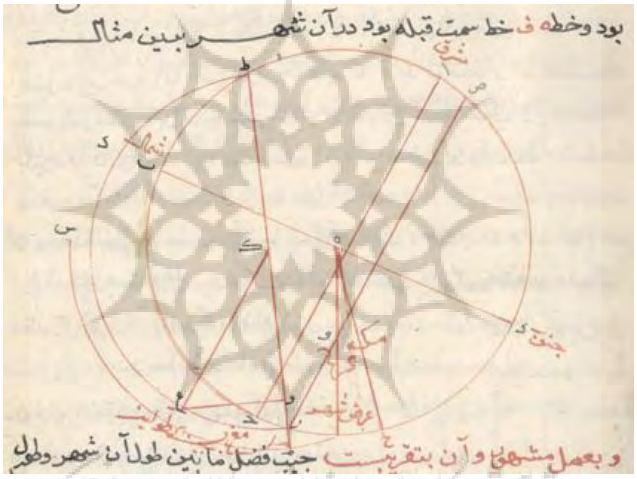
آنالمای دوم زیج یمینی

مطابق شکل ۹ دایرهٔ ABGD را به مرکز E رسم می‌کنیم، همانند حالت قبل، این دایره نشان‌دهندهٔ افق ناظر است. A به منزلهٔ نقطهٔ شرق، B نقطهٔ شمال، G غرب، D جنوب و E موضع شهر و تصویر سمت الرأس شهر است. قوس‌های GZ و GH را به ترتیب به‌اندازهٔ تفاضل عرض جغرافیایی دو شهر (شهر مورد نظر و مکه) و عرض جغرافیایی شهر مورد نظر جدا می‌کنیم. EH به منزلهٔ استوای آسمانی از دید روبه‌رو است. در این مرحله نیم‌دایرهٔ BGD همان نصف النهار مکان ناظر است. خط ZT را به موازات خط HE رسم می‌کنیم که به منزلهٔ مدار مکّه است. دایره‌ای به قطر ZT و مرکز نقطهٔ وسط آن (K) رسم می‌کنیم. سپس کمان ZN را برابر با تفاضل طول جغرافیایی دو شهر جدا می‌کنیم. KZN قطاعی از صفحهٔ مدار موازی با استوای آسمانی است. از نقطهٔ N عمودی بر KZ رسم می‌کنیم، نقطهٔ به دست آمده را F می‌نامیم، F نشان‌دهندهٔ سمت الرأس مکّه است. از آن خطی به موازات خط مشرق–مغرب رسم می‌کنیم. و از نقطهٔ تقاطع آن با خط شمال–جنوب، که همانند حالت قبل حکم خط نصف النهار را دارد ، به‌اندازهٔ FN پیش می‌رویم، نقطهٔ انتهایی (M) نشان‌دهندهٔ تصویر سمت الرأس مکّه و خط EM نشان‌دهندهٔ جهت قبله است. در این مرحلهٔ نهایی دایرهٔ مرجع بیان‌گر دایرهٔ افق است و نقطهٔ M موضع مکّه از نمای بالا است (نک: الحقایقی، ۱۹۷–۱۹۶: ۱۴۰۰).



شکل ۹. آنالمای دوم *زیج یمینی*

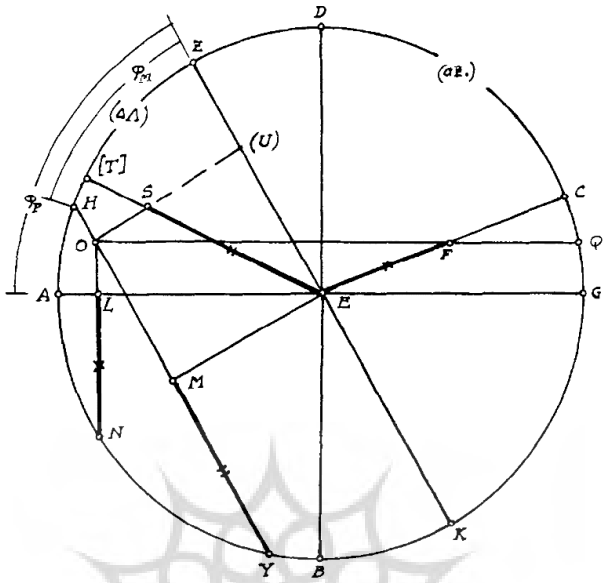
آنالمای دوم *زیج یمینی* در مراحل ابتدایی مشابه طریقهٔ منسوب به حبش حاسب است (شکل ۱۰). به طوری که در ابتدا با جدا کردن کمان‌هایی برابر با عرض جغرافیایی دو شهر، ترسیم از سمت الرأس شروع و منجر به تعیین استوا می‌شود. مراحل کار تا جدا کردن کمان تفاوت طول جغرافیایی مشابه روش حبش پیش می‌رود اما در مرحلهٔ نهایی برای تعیین مختصات تصویر مکّه و یافتن جهت مکّه مشابه آنالمای اول خود یعنی، به سیاق *تحدید نهایات* عمل می‌کند. در نسخه‌ای از *زیج حبش* که در کتابخانهٔ ینی جامعه استانبول نگهداری می‌شود، یک روش آنالما برای تعیین جهت قبل ذکر شده است که به علت مغایرت حروف گذاری شکل و متن نامفهوم است. آنالمای یادشده در نامه‌ای از ابوریحان بیرونی باقی‌مانده است، استوارت کندی و یوسف عید آن را به انگلیسی ترجمه و شرح کرده‌اند. در این نامه مراحل آنالما خلاصه و بدون شرح آمده است (نک: Kennedy & Id,1974).[۱]



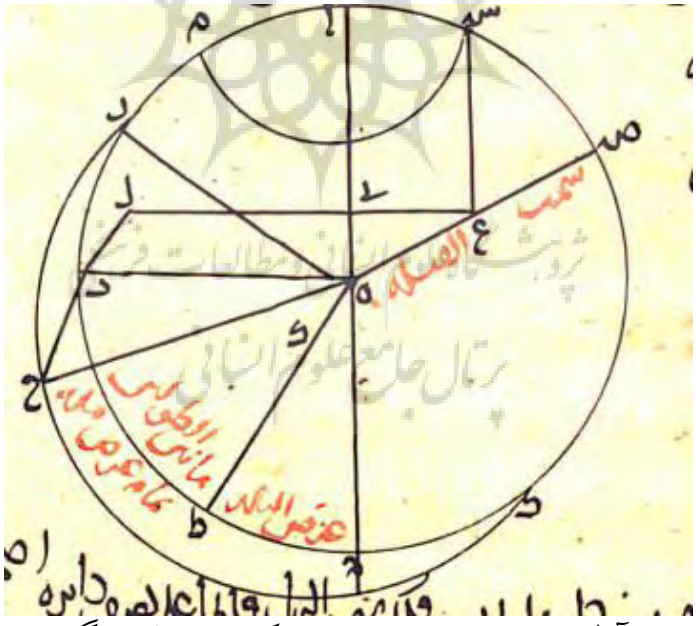
تصویر۲. آنالمای دوم در نسخهٔ بلغارستان *زیج یمینی* گ ۵۵ر

پرتال جامع علوم انسانی

۱. ترجمهٔ مقالهٔ یاد شده با عنوان "نامه‌ای از ابوریحان بیرونی، آنالمای حبش حاسب برای یافتن جهت قبله" در مجلهٔ *میراث علمی اسلام و ایران*، پیاپی ۱۲ چاپ شده است.



شکل ۱۰. آنالمای منسوب به حبش (Kennedy & Id,1974:8)



تصویر۳. آنالمای قانون مسعودی در نسخهٔ کتابخانهٔ سلمانیه گ ۱۵۴ پ

اثبات مثلثاتی روش دوم

برای محاسبهٔ زاویهٔ انحراف قبله (q) باید ضلع‌های EI و IM در مثلث EMI را به دست بیاوریم (شکل ۹). با توجه به متن شرح روش دوم، می‌دانیم ضلع IM با NF برابر است. شعاع دایرهٔ مرجع را یک واحد درنظر می‌گیریم، حال داریم:

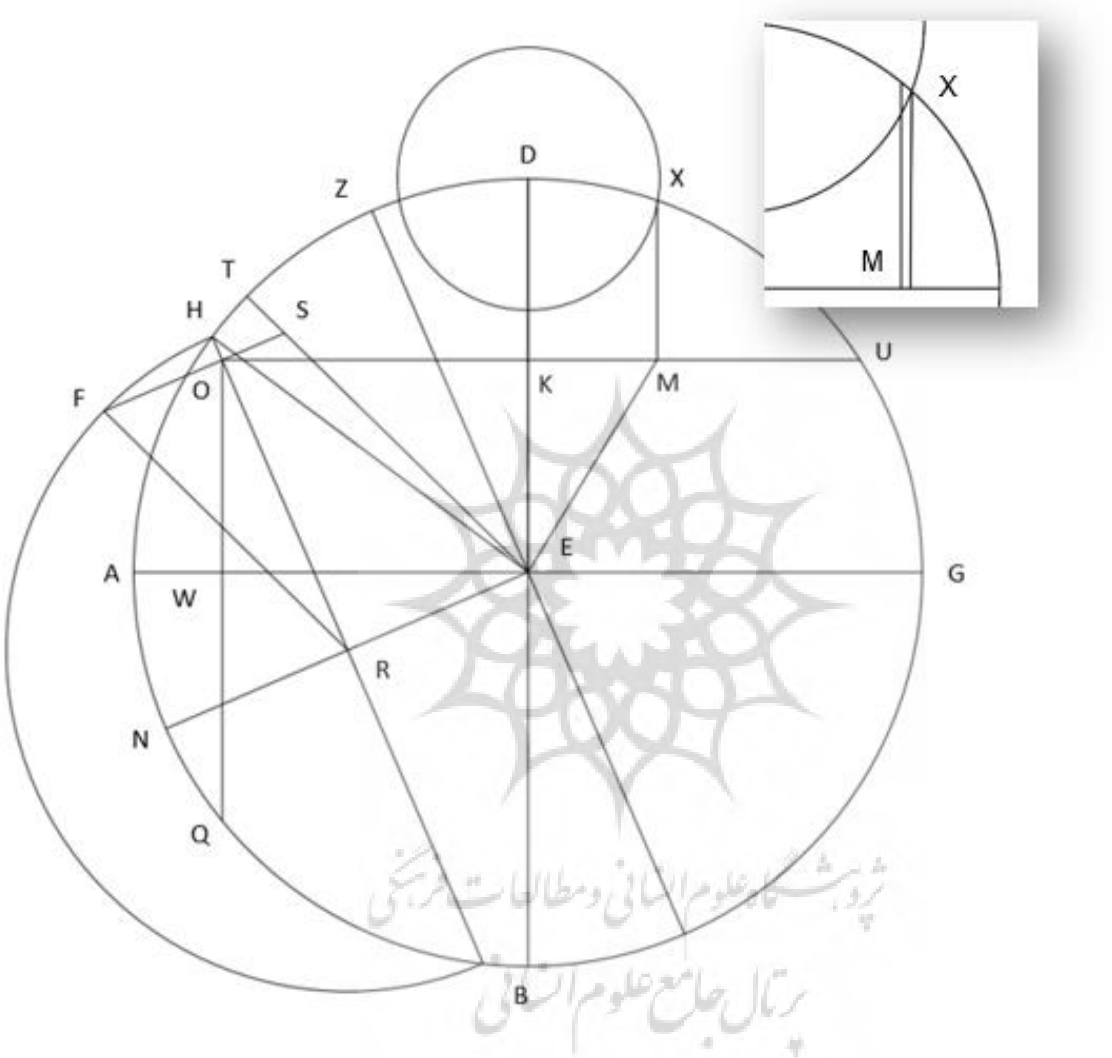
$$\widehat{HZ} = \varphi_m \, , EH = ۱$$
$$\widehat{FCD} = \widehat{HED} = \varphi' = ۹۰ - \varphi$$
$$CE = \frac{sin\varphi_m}{cos\varphi} , CK = CEsin\varphi$$
$$KZ = EHcos\varphi_m \, , KF = KZcos\Delta l$$
$$CF = CK + KF$$
$$CI = CFcos\widehat{FCI} = CFsin\varphi = (\frac{sin\varphi_m}{cos\varphi} sin\varphi + cos\varphi_m cos\Delta l)sin\varphi$$
$$EI = CI - CE$$
$$EI = \frac{sin\varphi_m sin^۲\varphi + cos\varphi cos\varphi_m cos\Delta l sin\varphi - sin\varphi_m}{cos\varphi}$$
$$\Delta \, EIM :$$
$$IM = FN = KZsin\Delta l \, , \widehat{MEI} = q$$
$$cotq = \frac{EI}{IM} = \frac{sin\varphi_m sin^۲\varphi + cos\varphi cos\varphi_m cos\Delta l sin\varphi - sin\varphi_m}{cos\varphi cos\varphi_m sin\Delta l}$$
$$cotq = \frac{cos\varphi cos\varphi_m cos\Delta l sin\varphi - cos^۲\varphi sin\varphi_m}{cos\varphi cos\varphi_m sin\Delta l}$$
$$cotq = \frac{cos\varphi_m cos\Delta l sin\varphi - cos\varphi sin\varphi_m}{cos\varphi_m sin\Delta l}$$
$$cotq = \frac{cos\Delta l sin\varphi - cos\varphi tan\varphi_m}{sin\Delta l}$$

رابطهٔ به دست آمده همان رابطهٔ ۱ است.

به‌منظور مقایسهٔ بهتر ترسیم، آنالماهای حبش، بیرونی در *تحدید نهایات* و *قانون مسعودی* و آنالمای دوم *زیج یمینی*، همه در یک شکل واحد ترکیب شده اند (شکل ۱۱). مراحل هر کدام از روش‌ها و کمان‌های به‌کار گرفته شده در هر یک در ستون مربوط به هر روش به طور خلاصه در جدول پیش‌رو نوشته شده است. بیرونی در مرحلهٔ نهایی آنالمای *قانون مسعودی* هنگام یافتن تصویر سمت الرأس

مکّه (M) دچار خطا شده است. با توجه به شکل ۱۱ مطابق توضیحات بیرونی پاره خط FO با KM برابر است اما او برای دست‌یابی به نقطهٔ M دایره‌ای به مرکز D و شعاع FH ترسیم و نقطهٔ مورد نظر را در امتداد X پیدا کرده است. با توجه به این‌که کمان FH از دایرهٔ صغیره و کمان DX بخشی از دایرهٔ عظیمه (همان دایرهٔ مرجع) پس امتداد X به نقطهٔ M نمی‌رسد (نک: Berggren,1980:74). با شبیه سازی در نرم‌افزار اتوکد و بزرگ‌نمایی این خطا مشهود و نقطهٔ نهایی محصول این روش با نقطهٔ واقعی M فاصله دارد (قسمت بزرگ‌نمایی شدهٔ شکل ۱۰). همان‌طور که گفته شد مراحل ابتدایی ترسیم آنالمای اول *زیج یمینی* مشابه *قانون مسعودی* بود. به احتمال حقایقی متوجه خطای بیرونی شد و در ادامهٔ مسیر از آن پیروی نکرد و با کمک از آنالمای *تحدید نهایات* آن را اصلاح کرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شکل ۱۱. ترکیب آنالمای دوم *زیج یمینی* با آنالماهای موجود در سایر منابع

روش حبش	روش بیرونی		روش حقایقی
	تحدید نهایات	*قانون مسعودی*	
$AZ = \varphi$	$DZ = ۹۰ - \varphi$	$BN = \varphi$	$AZ = \varphi$
$ZH = \varphi_m$	$ZH = ۹۰ - \varphi_m$	$NH = ۹۰ - \varphi_m$	$AH = \Delta\varphi$
$ZT = \Delta l$	$ZT = \Delta l$	$NT = ۹۰ - \Delta l$	$HF = \Delta l$
$RH = SE$ $SO \perp BH$	$FO \perp HR$	$FO \perp HR$	$FO \perp HR$
$OU \parallel AG$	$OU \parallel AG$	$OU \parallel AG$	$OU \parallel AG$
$OQ \perp AG$ $WQ = EM$	$FO = KM$	$DX = FH$	$FO = KM$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نتیجه‌گیری

با بررسی آنالماهای *زیج یمینی* با روش‌های بیرونی در *تحدید نهایات* و *قانون مسعودی* و روش به جا مانده از حبش، می‌توان به این نتیجه دست یافت که هر کدام از این روش‌ها صورت متفاوتی از یک آنالما هستند. به عقیدهٔ برگرن دو روشی که ابوریحان بیرونی در آثار خود به کار بسته است، برگرفته از آنالمای حبش است، او این موضوع را به دقت در مقالهٔ خود بررسی می‌کند (Berggren,1980). پس می‌توان نتیجه گرفت که آنالماهای *زیج یمینی* نیز صورت‌های متفاوتی از آنالمای حبش هستند. البته این نتیجه دور از انتظار نیست چرا که در همهٔ روش‌ها، مسأله واحد است، پیدا کردن موقعیت

سمت الرأس مکّه و تصویر آن روی افق، پس با تکیه بر هندسهٔ توصیفی (ترکیب نماهای روبه رو (نصف النهار مکان) و بالا (افق ناظر)) تنها می‌توان با رویّه‌هایی اندک متفاوت به جوابی یکسان رسید. بیشترین تفاوت‌ها در ترتیب روند ترسیم دیده می‌شود: این که ترسیم از کدام نقطه شروع شود، از کدام زاویه‌ها و یا متمم آن‌ها استفاده شود و شهر مورد نظر نسبت به مکّه شرقی باشد یا غربی.

با توجه به زمان تألیف *زیج یمینی* به نظر می‌رسد حقایقی به آثار بیرونی، دست کم *تحدید نهایات* و *قانون مسعودی* ، دسترسی داشته است و از هر دو بهره برده است. حقایقی یکی از اهداف نوشتن *زیج یمینی* را آسان کردن مطالب *زیج*ها و استفادهٔ مخاطبان بیشتر دانسته است. به نظر می‌آید بهر آسان کردن مطلب، حقایقی ترسیم‌ها را نسبت به آثار بیرونی کوتاه‌تر و مراحل بی تأثیر را حذف کرده است. بیرونی در آثارش توضیحاتی برای درک بهتر مثلثاتی این ترسیم‌ها عرضه کرده اما حقایقی ضرفاً مراحل ترسیم را بدون هیچ شرحی آورده است به طوری که با دانستن مختصات جغرافیایی شهرها به سرعت با ترسیم آنالما جهت قبله مشخص می‌شود. *قانون مسعودی* اصلی‌ترین منبع *زیج یمینی* بود (حسین زاده، ۱۴۰۱) نکتهٔ جالب توجه اینست که حقایقی در ترسیم آنالماها از این کتاب استفاده کرد اما خطای مرحلهٔ نهایی بیرونی در *قانون مسعودی* را در هیچ کدام از دو روش خویش به‌کار نبرد و آن را اصلاح کرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

الحقایقی، محمد بن علی. (۱۴۰۰ش). *زیج یمینی*. تصحیح محمد باقری و مائده حسین زاده. تهران: میراث مکتوب.

بیرونی، ابوریحان. «قانون مسعودی.» استانبول: کتابخانهٔ سلیمانیه Carullah۱۴۹۸.

بیرونی، ابوریحان. (۲۰۰۲م). *قانون مسعودی*. تصحیح عبدالکریم سامی الجندی. ج ۲. ۳ جج. بیروت: دارالکتاب العلمیه.

بیرونی، ابوریحان. (۱۳۵۲ش). *تحدید نهایات الاماکن لتصحیح مسافات المساکن*. ترجمهٔ احمد آرام. تهران: دانشگاه تهران.

دیوید کینگ. (۱۳۸۴ش). *قبله‌یابی در اسلام*. ترجمهٔ حسین ناهید.اصفهان: خانهٔ ریاضیات اصفهان و تهران: فاطمی.

حسین‌زاده، مائده. (۱۴۰۱ش). *گاهشماری و جغرافیای ریاضی در زیج یمینی: شرح فصل‌های اول، سوم و چهارم*. پایان‌نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد تاریخ علم، پژوهشکدهٔ تاریخ علم دانشگاه تهران.

قلندری، حنیف. (۱۴۰۰ش). «تعیین خط نصف‌النهار بر اساس کتاب *منتهی الإدراک فی تقاسیم الأفلاک* نوشتهٔ عبدالجبار خرقی (سدهٔ ۶ق/۱۲م).» *تاریخ علم*، (۱) ۱۹، ص۱۳۵-۱۵۶.

کندی، ادوارد استوارت. (۱۳۷۴ش). *پژوهشی در زیج‌های دورهٔ اسلامی*. ترجمهٔ محمد باقری. تهران: علمی و فرهنگی.

کندی، ای. اس و یوسف عید. (۱۳۹۶ش). «نامه‌ای از ابوریحان بیرونی: آنالمای حبش حاسب برای یافتن جهت قبله.» ترجمهٔ راضیه سادات موسوی. *میراث علمی اسلام و ایران*، سال ششم، شمارهٔ دوم، پیاپی ۱۲. ۴-۱۳.

معصومی همدانی، حسین و محمد علی مولوی. (۱۳۸۳ش). «بطلمیوس»، *دایره المعارف بزرگ اسلامی*. ج ۱۲. تهران: مرکز دائره المعارف بزرگ اسلامی. ص۲۵۱-۲۶۱.

موسوی، راضیه سادات.(۱۳۹۳ش). *تصحیح، ترجمه و شرح مقالهٔ دوم از مقصد اول رسالهٔ* قبلهٔ *غیاث الدین منصور دشتکی*. پایان‌نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد تاریخ علم، پژوهشکدهٔ تاریخ علم دانشگاه تهران.

هوخندایک، یان پ. (۱۳۹۱ش). «اسرار قبله‌نماهای اصفهان.» ترجمهٔ صمد فرخ نهاد. *میراث علمی اسلام و ایران*، سال اول، شماره اول، ص ۲۱-۳۵.

Al Bīrūnī(1967). *Kitāb Taḥdīd al-Amākin.* Translated by Jamil Ali. Beirut: American University of Beirut.

Berggren, J. L. (1980). "Four Analemas for the Qibla". *Journal for the History of Arabic Science* 4(1): 49–80.

Berggren, J. L. (1985). "The Origins of Al Bīrūnī's 'Method of the Zījes." *Centrus* 28, no.1: 1-16.

Carandell, J. (1984). "An Analemma for the Determination of the Azimuth of the Qibla in the Risāla *fī ʿilm al-ẓilāl* of Ibn al-Raqqām", *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften* 1:61-72.

Drachmann, A.G. (1972). ”Hero of Alexandria”. *Dictionary of Scientific Biography*. Vol: 6. New York: Charles Schribner's Sons.

Kennedy, E. S. (1973). *A Commentary upon Bīrūnī’s Kitāb Taḥdīd al-Amākin*. Beirut: American University of Beirut.

Kennedy, E. S., and Yusuf Id. (1974). “A Letter of Al-Bīrūnī Ḥabash al-Ḥāsib’s Analemma for the Qibla”. *Historia Mathematica* 1(1): 3–11.

King, D. (1999). *World-Maps for Finding the Direction and Distance to Mecca: Innovation and Tradition in Islamic Science*, London: Al-Furgan Islamic Heritage Foundation.

King, D. (1996)“Astronomy and Islamic Society: Qibla, Gnomonics and Timekeeping.” *Encyclopedia of the History of Arabic Science* 1 129–84.

Neugebauer, O. (1975). *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, 3 vols. New York: Springer-Verlag.

Sidoli, N. (2005). “Heron's Dioptra 35 and Analemma Methods: An Astronomical Determination of the Distance between Two Cities”. *Centaurus* 47(3): 236-258.

Sidoli, N. (2020). “Mathematical Methods in Ptolemy’s Analemma”. *Ptolemy’s Science of the Stars in the Middle Ages.* Volume 1 of Ptolemaeus Arabus et Latinus studies. Belgium: Brepols. 35-77.

Van Brummelen, Glen . (2009). *The Mathematics of the Heavens and the Earth: The Early History of Trigonometry*. Princeton University Press.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی