تاریخچه ژئودزی

مهندس عباسعلی صالح آبادی (عضو هیأت علمی دانشکده نقشه‌برداری)

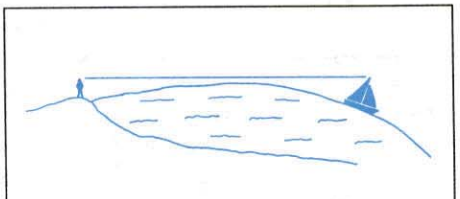
از زمانهای بسیار قدیم تلاش بشر به گونه‌ای بود که دانش خویش را در مورد سیاره‌ای که بر روی آن زندگی می‌کند افزایش دهد. اگر چه اکثر پدیده‌های طبیعی آن حاوی رمز و رازهای پیچیده‌ای بوده است.

زمانی که بشر بر روی زمین به زراعت پرداخت، چگونگی کاهش و افزایش طول شبانه‌روز و تغییرات کلی افزایش حداکثر ارتفاع از سطح زمین که موجب بوجود آمدن سال‌ها می‌شود را دریافت.

زمانی که در ساحل دریا به ماهیگیری پرداخته بود، به تدریج دریافت که با فاصله گرفتن کشتی از ساحل، ابتدا قسمتهای پائین بدنه کشتی از نظر ناپدید شده و سپس بخشهای بالایی و بادبانهای آن در افق از نظر پنهان می‌شود.

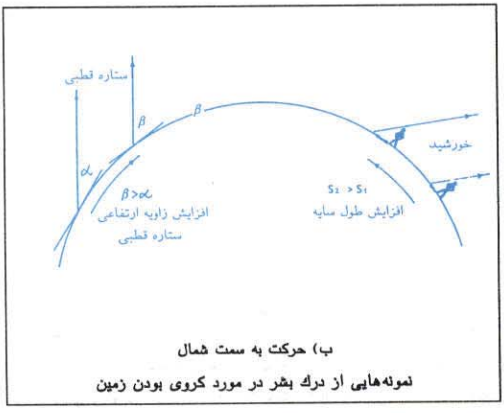
برای ناظری که در ساحل ایستاده و دارای دو متر قد می‌باشد زمانی که با چشمانش به یک کشتی که دارای ۳۰ متر ارتفاع می‌باشد (ارتفاع دکل کشتی) نظاره می‌کند (نگارهٔ الف) متوجه می‌گردد که پس از ۵/۵ کیلومتر فاصله گرفتن آن از ساحل، بدنه کشتی ناپدید می‌شود و دکل و بادبانهای آن سرانجام در ازای فاصله ۲۲ کیلومتر از ساحل از دید ناظر ساحلی پنهان می‌ماند.

البته بایستی به این نکته توجه داشت که منظور از بیان این تجربیات بشری فاصله سنجی و یا تعریف واحدهای طولی همانند کیلومتر نمی‌باشد. در آن زمان همان‌طور که حس ماجراجویی بشر بیشتر برانگیخته می‌شد، نیاز به انجام سفرهای طولانی و دوری از محدوده قلمرو خویش را بیشتر



الف) ناپدید شدن کشتی از افق دیدگانی ناظر

طلب می‌نمود. چنان که ناچاراً به‌بررسی اینکه به کدام جهت برود به سمت شرق یا به سمت غرب حرکت نماید. لذا مجبور به شناخت ستارگان شد به گونه‌ای که ستارهٔ قطبی (شمالی) را شناخت که نشان دهندهٔ جهت شمال برای او بود. یا اینکه برای حرکت به اطراف و مناطق دیگر، نشانه‌های نجومی دیگر همانند صور فلکی و دایرةالبروج را شناخت و همچنین دریافت که اگر در مکانی زیاد و کم بایستد ارتفاع در مکانش تغییر نمی‌کند و چنانچه به سمت شمال یا جنوب حرکت نماید شاهد تغییرات ارتفاع خواهد بود.



ب) حرکت به سمت شمال

نمونه‌هایی از درک بشر در مورد کروی بودن زمین

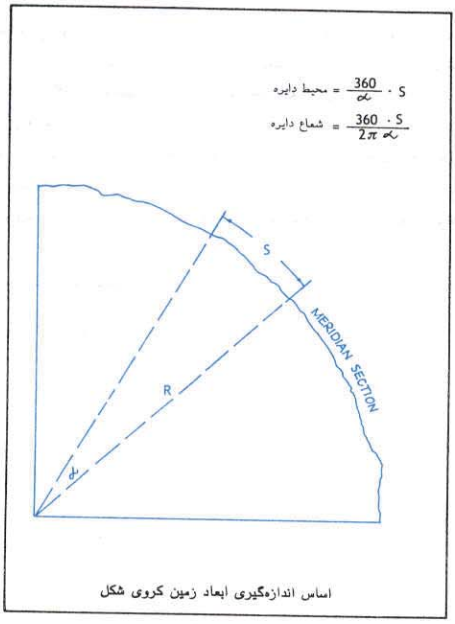
به‌علاوه، او دریافت که طول سایه‌اش در هنگام ظهر و در زیر تابش نور خورشید ضمن حرکت به سمت شمال و جنوب زمین تغییر می‌کند، در حالی‌که در حرکت به‌سمت شرق یا غرب در طول روزهای مختلف طول سایه‌اش به‌طور محسوسی ثابت می‌باشد.

خواه ناخواه دیر یا زود این پدیده‌های طبیعی، ایدهٔ مجهول بودن شکل زمین را در ذهن بشر ایجاد نموده که ممکن است سؤال شود آیا زمانهائی که، مسافرتها از لحاظ وسعت بسیار کوتاه و کم خطر و محدود شده بود، آیا

دانستن شکل زمین برای بشر اهمیت داشته است؟ به‌هرحال چگونگی شکل زمین از سطح مستوی تا سطحی به شکل دیسک - یا استوانه و یا اشکالی که با یک سری تغییرات برروی اشکال قبل به‌وجود آمده‌اند، مسئله‌ای بوده که تاکنون ادامه داشته است.

به‌طور یقین در عهد فیثاغورث زمین را کروی می‌دانستند به‌علت این که کره تنها شکل هندسی بود که توسط فیلسوفان آن زمان به عنوان جسمی کامل و یک‌پارچه و با انحنایی یکنواخت و منظم درنظرگرفته شده بود.

اما همان‌طور که ممکن است انتظار داشته باشید تمامی دانشمندان با این نظر فیلسوفان موافق نبودند. این مخالفت حتی تا قرن ششم پس از میلاد نیز ادامه داشت. و ایدهٔ کروی بودن زمین مورد تمسخر بعضی از دانشمندان بود، و همواره این سؤال را مطرح می‌کردند که چگونه یک زمین گرد و کروی شکل می‌تواند دریاچه‌ها و دریاها را برروی سطح خودش نگه‌دارد.



اساس اندازه‌گیری ابعاد زمین کروی شکل

افتخار اولین تلاش برای معرفی یک بُعد برای کره نصیب ارسطو گردید واندازه گیری او در حدود ۴۰۰,۰۰۰ استید (stade) بود. (استید واحد اندازه گیری یک ورزشگاه در یونان قدیم است و یونانیان واحد اندازه گیری طول و درازا را در حدو یک استید (استادیوم) می‌دانستند که مقدار تقریبی آن بر حسب واحد انگلیسی فوت در حدود ۶۰۷ فوت می‌باشد.)

لذا با دانستن این فرضیه، شکلی معرفی شدکه بسته به انتخاب ضریب تقارب، بین ۸۴,۰۰۰ کیلومتر الی ۶۳,۰۰۰ کیلومتر درتغییر بود. اما چگونگی به‌دست آوردن تعداد این بُعد همچنان مجهول ماند. یک قرن بعد ارشیمیدس عدد ۳۰۰,۰۰۰ استید (از ۶۳,۰۰۰ کیلومتر الی ۴۷,۰۰۰ کیلومتر) را بیان کرد. البته خود این تفاوت می‌تواند ناشی از اختلاف در معرفی طولهای متفاوت واحد استید باشد و یا این‌که هر دو نفر اشکالی با بُعد ۶۳,۰۰۰ کیلومتر را استفاده نموده‌اند و احتمالاً منشاء حدس و ایدهٔ آنان یکسان بوده است. برای رسیدن به یک مقدار عددی و علمی به مصر سفر می‌کنیم جائی‌که یک فیلسوف یونانی به نام اراتوس تِنس (Eratos thenes) از سال ۱۹۵ الی ۲۳۵ قبل از میلاد متصدی کتابخانه معروف شهر اسکندریهٔ مصر بود. او اصلی را اثبات نمودکه امروزه نیز مورد قبول است و در نگارهٔ (۲) نشان داده شده است.

اگر کره‌ای را در نظر بگیریم، اندازهٔ این کره را می‌توان تعیین کرد چنانچه دو کمیت ازاین کره معلوم باشد. یکی از این دو کمیت فاصلهٔ دو نقطه‌ای است که بر روی یک نصف‌النهار (منحنی متصل کنندهٔ دوقطب به یکدیگر) باشند. و دیگری زاویه‌ای است که قائمها از این دو نقطه در مرکز زمین به‌وجود می‌آورند. در آن صورت:

محیط دایره برابر خواهد بود با $\frac{360^\circ \times S}{a}$، جائی‌که a و S دو کمیت قابل اندازه گیری هستند. از طرفی به‌نظر می‌رسد که دسترسی به مرکز زمین و اندازه گیری و مشاهدهٔ زاویهٔ مرکزی a کاری بس مشکل باشد، اما از طرف دیگر می‌دانیم که این زاویه را می‌توان در روی سطح زمین به انواع روشهایی که در نمونه‌های ذیل مشخص شده‌اند بدست آورد.

در همان کتابخانه‌ای که اِراتوس تنس کارمی‌کرد محل مناسبی برای دسترسی به انواع ایده‌ها و اطلاعات وجود داشته است بنابراین حقیقتاً خواه خود او اولین مبتکر اندازه گیری یا خواه اینکه تلفیقی از اطلاعاتی باشدکه از پاسخ‌گوئی به سؤالات خویش از گزارشهای دیگران در کتابخانه به‌دست آورده باشد. به‌هرحال تاریخ مدعی است که او اولین کسی بودکه متوجه شد در انقلاب تابستانی - نقطه اوج زمانی‌که زمین در دورترین نقطه از مدار چرخش به دور خورشید قرار می‌گیرد - درخشش خورشید به‌طور مستقیم در اعماق چاهی در منطقه سیه‌نه (syene) مصر قابل دیدن است . به‌طور مثال این نقطه می‌تواند در منطقه‌ای در مدار رأس‌السرطان (مدار ۲۳° درجه و ۲۷′ دقیقهٔ شمالی یا جنوبی) باشد. احتمالاً در همان زمان در اسکندریه بوسیله یک تیرک چوبی یا یک ظرفی که به شکل نیمکره بوده و در مرکز آن یک شاخص فلزی یا چوبی قرارداشته، دریافته بودند که خورشید، سایه‌ای به اندازهٔ یک پنجاهم محیط دایره که تقریباً در حدود یک چهارم یکی از صور فلکی است به‌وجود می‌آورد. یا برحسب واحدهای اندازه گیری زاویه‌ای معادل با ۱۲′ و ۷° به‌وجود می‌آورد.

اگر محیط دایره‌ای شکل ظرف به ۵ قسمت تقسیم گردد، در جائی که کل محیط دایره ۳۶۰ درجه می‌باشد .

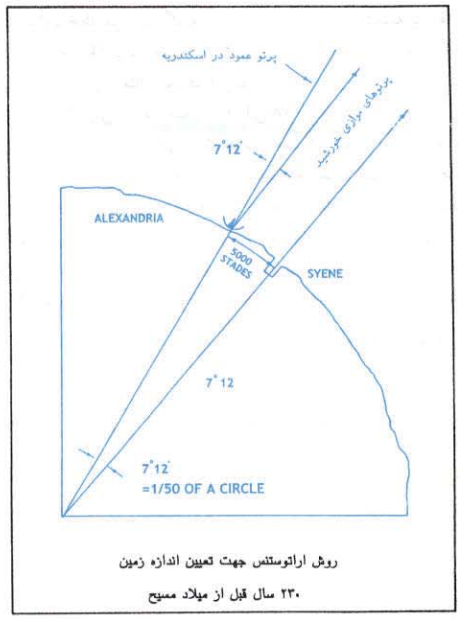
و $\frac{1}{50}$ محیط دایره که طول کمان اشغال شده توسط سایهٔ شاخص می‌باشد برابر با (۱۲′ و ۷° = $\frac{360^\circ}{50}$) است.

حال طول شعاع اندازه گیری شدهٔ زمین برابر با (استید ۲۵۰,۰۰۰ = ۵۰ × ۵۰۰۰ است. $R = \frac{S}{a} = \frac{5000}{1:50}$

$S = 5000$ stade رادیان $\frac{1}{50}$ = ۱۲′ و ۷° = a

استید $R = 5000 \times 50 = 250,000$

این زاویه مشابه با همان زاویه است که به‌وسیلهٔ دو قائم مار از دونقطه به



روش اراتوستنس جهت تعیین اندازه زمین
۲۳۰ سال قبل از میلاد مسیح

فاصله S در مرکز زمین به‌وجود می‌آید. بنابراین، این فیلسوف یونانی مقدار عددی زاویه اندازه‌گیری شده را با مقدار ۵۰۰۰ استید(استادیوم) بدست آمده برای فاصلهٔ بین سیه‌نه (syene) تا اسکندریه تلفیق نمود. حال اینکه آیا این فاصله به‌وسیلهٔ نقشه‌برداران سواره نظام سلطنتی برحسب مسافرتهای روزانهٔ شترها یا به عنوان یک حدس علمی بدست آمده باشد، هنوز ممکن است کاملاً مشخص نباشد.

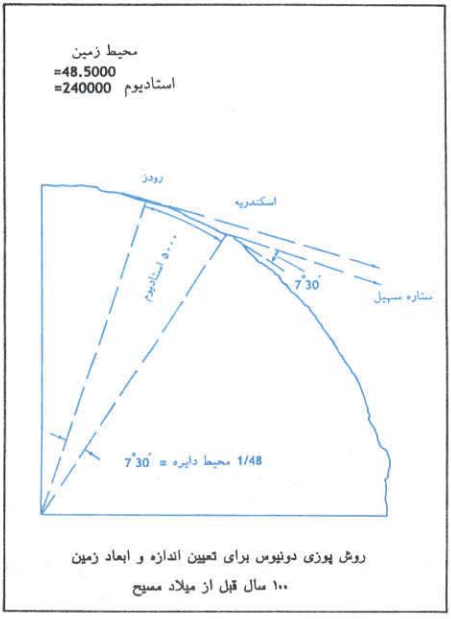
stade یا استادیوم واحدی برای اندازه‌گیری فاصله است که توسط یونانیان قدیم بکار برده می‌شد که معادل طول زمین ورزشگاههای آن دوران است. استادیوم = ۲۵۰,۰۰۰ = ۵۰ × ۵۰۰۰ = محیط دایره

ممکن است مشاهدات و فرضیات ما با خطاهای بسیاری آمیخته شده باشند. با اینحال اندازه‌گیری استادیوم[1] ۲۵۰,۰۰۰ = ۵۰ × ۵۰۰۰ (و یا کیلومتر ۳۹,۴۰۰ الی ۵۲,۵۰۰) با تقریب خوبی معادل مقدرا امروزی آن (۴۰,۰۰۰ کیلومتر) است که امروزه اندازه‌گیری شده است.

لذا اندازه‌گیری شعاع زمین در قدیم را می‌توان تنهابه‌عنوان بروز شانسی موفق در یک آزمایش تصورکرد. مکان چاه‌ایجاد شده در منطقه **سیه‌نه** (syene) در حدود فاصله ۶۰ کیلومتری از مدار رأس‌السرطان قرار دارد.[2] ولی دقیقاً برروی این مدار نمی‌باشد و این خود به عنوان یک نوع خطاء در اندازه‌گیری فاصله دو نقطه بر روی یک مدار یکسان است پس فاصله اندازه‌گیری شده بین آن دو نقطه حدوداً ۱۰٪ درصد خطا دارد.

لذا این خطا زمانی قابل درک است که ۲۰۰۰ استادیوم اضافه شود به‌گونه‌ای که نتیجه‌ای حاصل شود که قابل تقسیم بر عدد ۶۰ باشد بنابراین با این روش خطای اندازه‌گیری ما از کل مقدار اندازه‌گیری شده جدا خواهد شد.

یک قرن بعد پوزی دونیوس (Poseidonius) روش متفاوتی را برای به‌دست آوردن نتیجه قابل قیاس با مقدار ۲۴۰,۰۰۰ استادیوم ابداع کرد.



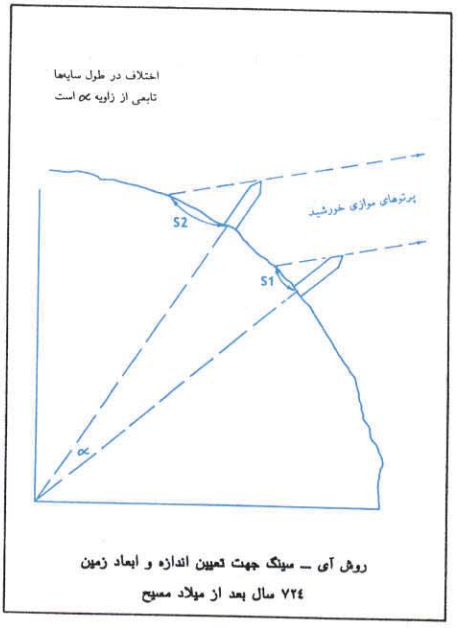
روش پوزی دونیوس برای تعیین اندازه و ابعاد زمین
۱۰۰ سال قبل از میلاد مسیح

او متوجه شد که زمانی‌که او از رود وایلست (Rhode whilst) در شهر اسکندریه که در حدود $\frac{1}{48}$ محیط یک دایره (تقریباً ۳۰ و ۷°) از افق ارتفاع دارد به ستاره سهیل نشانه‌روی می‌کند، این ستاره را در افق می‌بینند. فاصله تخمین زده شده همان ۵۰۰۰ استادیوم است اما از آنجائی‌که شهرها به‌وسیلهٔ آب از یکدیگر جدا شده‌اند بنابراین مقدار فاصله فقط می‌توانند از طریق برآوردها و تخمینهای دریانوردان حاصل شده باشد.

زاویه بکاربرده شده توسط پوزی دونیوس (Poseidonius) تقریباً مشابه روش اراتوس‌دنس بود که البته دراین دو روش دو و یک چهارم درجه اختلاف در اندازه زاویه وجود داشت و در مورد اندازه‌گیری فاصله بین دو نقطه مشاهداتی فوق در حدود ۳۰٪ الی ۴۰٪ اختلاف وجود داشته است. اما برای تعدیل و بهبود نتایج می‌توان به کوچکتر کردن زاویه و افزایش طول فاصله اشاره کرد بگونه‌ای که نتایج مطلوب و قابل قبولی حاصل شود.

روش دیگری نیز برای اندازه‌گیری شعاع زمین وجود دارد که درقرن هشتم بعداز میلاد در چین توسط دانشمندی به نام آی - هاسینگ (I - Hsing) به‌کار برده شد (نگاره (۵))

آی هاسینگ یک ریاضی دان و منجم مشهور چینی و راهب بودائی مذهب بود که اقدام به انجام مشاهدات مستمر و سازمان یافته بر روی کمانی به‌طول ۵۰۰۰ کیلومتر یا[3] (لی ۱۱۴۰۰) از نصف‌النهار ۱۱۴° درجه شرقی



روش آی ــ سونگ جهت تعیین اندازه و ابعاد زمین
۷۲۴ سال بعد از میلاد مسیح

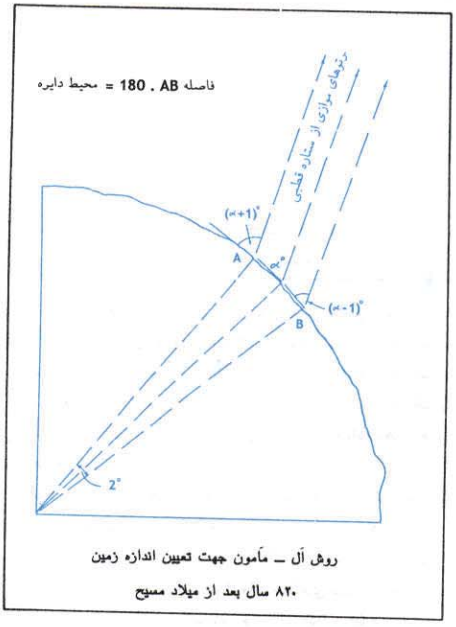
نمود. این ابتکار از روی این ایدهٔ قدیمی و محکم ناشی شد که طول سایه یک شاخص ۸ فوتی (تقریباً ۱/۹۶ متر) در حدود یک اینچ چینی یا (۰/۰۲ الی ۰/۰۳ متر) به ازاء هر ۱۰۰۰ لی افزایش در طول نصف‌النهار فوق تغییر می‌کند.

به هر حال نتیجهٔ این کار تغییر سایه شاخص به‌اندازهٔ ۴ اینچ (۰/۱ متر) بود، لذا این روش اندازه‌گیری و داده‌های مزبور مقدار ۱۲۸۳۰۰ لی را که در حدود ۵۶۷۰۰ کیلومتر می‌باشد را برای محیط زمین ارائه داد.

روش دیگری نیز وجود دارد که در حدود ۸۲۰ سال بعد از میلاد مسیح در قلمرو اسلام و در عراق توسط یک دانشمند مسلمان به نام خَلیف آل مأمون به کارگرفته شد (نگارهٔ (۶)).

این دانشمند مسلمان، منجمین خودش را به گونه‌ای هدایت نمود که آنها چندین مسیر (احتمالاً ۴ مسیر) واقع بین بغداد (پایتخت حکومت اسلامی) و شهر الرّقاه را اندازه‌گیری نمایند.

از یک نقطه آغازین واقع در وسط مسیر گروه منجمین نظاره‌گر در دو جهت شمال و جنوب و در طول مسیر بین دو شهر حرکت نمودند، تا جائی‌که زاویه قائم خط دیدگانی آنها با ستاره قطبی به یک درجه رسید در این حالت فاصله بر حسب واحد مایل عربی اندازه‌گیری شد که براساس یک نتیجهٔ مورد قبول فاصله ۵۶۲/۳ مایل عربی در حدود ۱° درجه زاویه قائم از ستارهٔ قطبی بود. تبدیل این مقدار به‌دست آمده برحسب واحد مایل عربی ایجاد خطا می‌کند اما نتیجهٔ مورد قبول از این روش برای شعاع زمین برابر با ۱۱۱,۵۷۳ کیلومتر است که مقدار ۳۹۹۸۶ کیلومتر را برای محیط کرهٔ زمین به‌دست آمد. که این مقدار بدست آمده نیز احتمالاً برای اندازه‌گیری زمین توأم با خطاء می‌باشد بگونه‌ای که کریستف‌کلمب با استناد به این مقدار فکر نمود که قارهٔ آسیا در حدود ۴۰۰۰ مایلی (۶۴۰۰ کیلومتری) غرب قارهٔ اروپا قرار دارد. برای مثال جغرافیدانی که تمامی دریانوردان کهن او را به نام Dtolemy دتولومی (که در حدود ۱۰۰ الی ۱۷۸ سال پس از میلاد مسیح می‌زیست) می‌شناسند. یکی از اشخاصی است که مقدار پذیرفته شده ۱۸۰,۰۰۰ استادیوم رابرای محیط زمین محاسبه نموده است. این مقدار به‌وسیله یک ضریب نادرست به ۲۸۳۵۰ کیلومتر تبدیل می‌شود و اگر تصور نمائیم که در نقطه‌ای به عرض ۳۵ درجه شمالی باشیم این مقدار برای محیط زمین به مقدار ۲۳۲۰۰ کیلومتر کاهش می‌یابد که در مقایسه با مقدار حقیقی ۲۳۸۰۰ کیلومتر دارای اختلاف حدود ۲۰۰ کیلومتر است. اگر زمین توسط



روش آل ــ مأمون جهت تعیین اندازه زمین
۸۲۰ سال بعد از میلاد مسیح

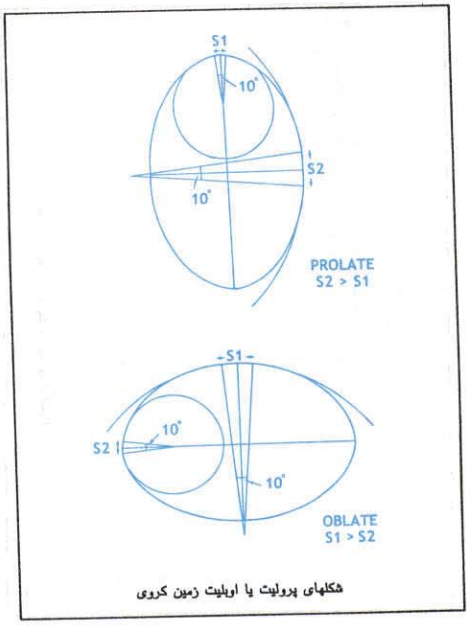
این اندازه محاسباتی تصور می‌شد که تقریباً در حدود ۷۰٪ اندازهٔ واقعی زمین طبیعی است.

درآن‌صورت دریانوردان و کاشفان سرزمینهای ناشناخته، شانس کمی برای دریانوردی و کشف سرزمینهای جدید داشتند.

تعبیر دیگری که در این زمینه گفته می‌شود این است که کریستف کلمب نتایج حاصل از آل مأمون را استفاده نمود. با این تفاوت که فاصله ها را به جای مایل عربی برحسب مایل ایتالیایی محاسبه نمود، و این اختلاف باعث محاسبه فاصله‌ای در حدود ۲۵٪ کوتاهتر از فواصل محاسبه شده از سایر روشهای دیگر بوده است.

در قرون شانزدهم میلادی و هفدهم میلادی چرخش و ترقی در اکثر

زمینه‌های علوم اتفاق افتاد و این کاربریها فقط محدود به اندازه‌گیریهای معین نقشه‌برداری نشد. پیشرفت و توسعه در ساخت دستگاههای دقیق به عنوان مثال ساخت تلسکوپهای دقیق، ورنیه، دماسنج و فشار سنج و برای ابزار محاسباتی، اختراع تکنیک‌های پیشرفته محاسباتی همانند جدول لگاریتم - مثلثاتی تمامی آنها راههای جدیدی را برای طراحی و اندازه‌گیری ومحاسبهٔ شبکه‌های مثلث‌بندی جدید باز نمودند. (به فصل چهار مراجعه شود). در سال ۱۵۳۳ میلادی با نوشتن کتاب جمافریسیون Gemma) (Frisius در زمینه اساس مثلث‌بندی گامی به جلو گذاشته شد. اما هنوز تردید وجود داشت که آیا می‌توان آن را در عمل بکار برد، روشی که او در کتابش مشخص نموده بود به‌طور یقین قابل مشاهده و اندازه‌گیری نبود.



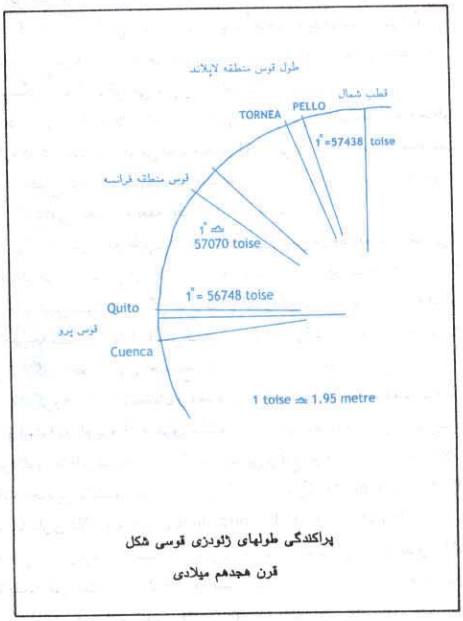
شکلهای پرولیت یا اولیت زمین کروی

بنابراین این تکنیک به‌وسیله براهه (Tycho Brahe) در اواخر قرن شانزدهم میلادی توسعه داده شد اما نقطه تحول در این روش به‌وسیله ویلی بیورد سنلیوس (willi biord Snellius) در سال ۱۶۲۰ میلادی به وقوع پیوست.

«ژئودزی به روایت تاریخ»

دانشمندان اولین نوع مثلث‌بندی که دارای ۵ طول مبنا در نزدیکی لیدن (Leiden) بود و بین دونقطهٔ برگن آپ زوم (Bergen - op - Zoom) و آلک مار (Alkmaar) اجرا شده بود را اندازه‌گیری کردند. در این اندازه‌گیری طول تمامی روشهای تکنیکی قبلی بکار رفته بود به‌گونه‌ای که فاصله دو ایستگاه رابه‌طور غیر مستقیم و در مقایسه با روش مستقیم تعیین نمودند. به‌عنوان مثال به جای اندازه‌گیری دقیق فاصله‌ای در حدود ۱۰۰ کیلومتر به‌وسیله تقسیم آن به بخشهای کوچک و اندازه‌گیری هرکدام با متر فولادی یا روشهای مشابه، روش سنلیوس با اندازه‌گیری حداقل یک طول کوتاه (که به‌طور متوسط ۱۳۰۰ متر است) محاسبه قوسی در حدود ۱۳۰ کیلومتر امکان‌پذیر شد.

در انتهای قرن شانزدهم و ابتدای قرن هفدهم میلادی چندین طول قوس در فرانسه تحت نظارت و راهنمایی خاندان کاسینی (cassini family) کسی که وظایف اصلی سازمان (paris observatory) را روی



پراکندگی طولهای ژئودزی قوسی شکل
قرن هجدهم میلادی

تولید چهار محصول عمده معطوف نموده بود، محاسبه شد و تقریباً به موازات آن فعالیت‌های علمی انجمن سلطنتی لندن و انجمنهای سلطنتی و دانشگاهی در پاریس پدیدار شدند.

بنابراین به‌دنبال آن سفرهای اکتشافی به خارج از مرزها با انگیزهٔ ماجراجوئی همراه با استفاده از طیف وسیع منابع علمی موجود که مشاهده نوسانات را نیز در برمی‌گرفت به‌راه افتاد.

نتایج این سفرها همراه با تئوریهای ارائه شده توسط اسحاق نیوتن (Isaac Newton) مشخص شده‌بود که زمین باید درقطبها فشرده باشد. اندازه‌گیریهای طول قوس توسط فرانسویها درست خلاف این نظر را مشخص نموده بود به عبارتی زمین در استوا فشرده شده بود.

اشارات فوق حکایت از یک ستیز علمی متعادل بین دو دسته از دانشمندان داشت.

یا به‌عبارتی همان‌طور که به‌وسیلهٔ اشخاصی توصیف شده است، جدال

برسر انتخاب شکلی شبیه به تخم‌مرغ یا شبیه به گلابی (pompkin) برای زمین است. نامهای علمی و فنی داده شده به این شکلهای شبیه‌هم یکی به نام [oblate spheroid] اوبلیت اسفروئید به معنی شکل کروی فشرده شده در قطبین و دیگری به نام [prolate spheroid] پرولیت اسفروئید به معنی شکل کروی فشرده شده در استوا است. (نگاره (۷) مشاهده شود) برای هر مقدار زاویه‌ای تعیین شده، طول قوس معادل با آن برای زمین اسفروئید پرولیت در استوا بزرگتر است و همین طول قوس برای شکل زمین اسفرائید اوبلیت، درقطبها بزرگتر می‌گردد.

این مسأله‌ای بود که نیاز به تشخیص مصرانه‌ای داشت از آن جهت که با پیچیدگیهای خطرناکی همراه بود که نهایتاً منجر به پدیدآمدن کاوشگران و دریانوردان بی‌باک و شجاعی گردید که سفر ماجراجویانهٔ کریستف‌کلمب (کاوشگر پرتقالی) گواهی براین ادعا است.

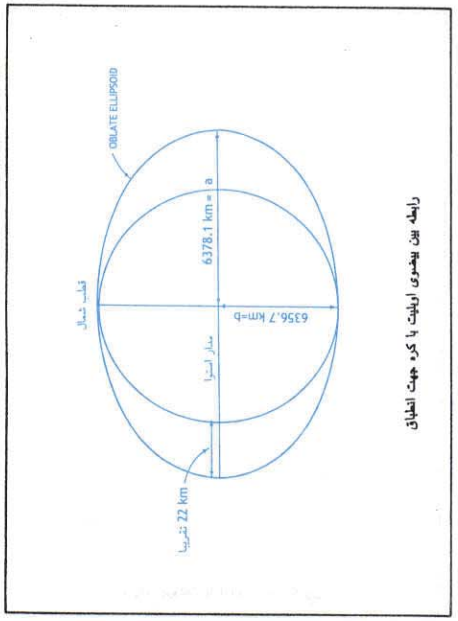
در سال ۱۷۳۰ میلادی به یک آکادمی در پاریس پیشنهاد شد که به منظور اندازه‌گیری یک طول قوس بلند سفری اکتشافی درمنطقه استوا انجام دهد. قبل از مطرح شدن این پیشنهاد، تقاضاهای دیگری نیز جهت مهیا نمودن سفر اکتشافی دیگر به منطقه قطب مطرح شده بود.

از اندازه‌گیری دو طول قوس که این چنین در محدوده وسیعی از یکدیگر قرارداشتند و در نگاره ۸ نشان داده شده، باید نتیجه‌ای به‌دست می‌آمد، بدین صورت که اگر طول کمان اندازه‌گیری شده در شمال به اندازه یک درجه نسبت به طول همین کمان در استوا بزرگتر می‌شد درآن صورت می‌توان‌گفت نظریه‌نیوتن صحیح بوده‌است‌وا گرنه‌نتیجه‌برعکس‌است.

لذا گروهی از دانشمندان و محققین آکادمی پاریس به منطقه‌ای نزدیک مدار استوا به نام پرو (که امروزه کشور اکوادور نامیده می‌شود) عزیمت نمودند و عده‌ای نیز به سوی لاپلند جنوبی واقع در مرز سوئد و فنلاند رفتند چندین دانشمند معروف همانند پیر بوگر (Pierre Bouguer) چالزماری دلاکوندامین (charles marie dela condamine) درتیم اعزامی به پرو وجود داشتند و تیمی که به سمت منطقه مرزی سوئد و فنلاند (لاپلند) عزیمت نمود شامل دو افسر نیروی دریایی اسپانیا به نامهای پیرلویس ماپرتیوس [pierre louisde maupertuis] و آلکسی کللادکلایروت [Alexis - claude - clairaut] و آندرس سلسیوس [Anders celsius] بودند.

نتایج قانع کننده‌ای که این دو تیم تحقیقاتی به دست آورد اثبات نمود که نظریه دکتر نیوتن صحیح می‌باشد و این نظریه خاندان کاسینی [II avait aplati La Terre et les cassinis] است که صحیح نمی‌باشد. همانگونه که ولتایر در زمان ماپرتیوس در یک جمله به بردلی (Bradley) منجم انگلیسی گفته بود. «ببینید آقا، شما دیدید که برطبق اندازه‌گیرهای زمینی انجام شده، زمین در قطبین فشرده شده است همانطوری که از قبل به‌وسیله قوانین مکانیک استاتیک بیان شده بود و حتی این فشردگی از آنچه که آقای اسحاق نیوتن نیزگفته بود بیشتر است.

بعدها ولتایر به اعضاء بازگشتی از سفر اکتشاف به پرو گفت که شما آقایان با بحث و جدل و تحقیق طولانی چیزی را دریافتید که آقای نیوتن قبلاً بدون آنکه حتی مجبور شود از خانه‌اش خارج شود، یافته بود. اندازه دو شعاع محاسباتی که از نتایج حاصل از سفرهای اکتشافی به‌دست آمد برابر با ۶۳۷۶/۴۵ و ۶۳۵۵/۸۸ کیلومتر بود. یا اگر بخواهیم آنها را بر حسب طول کمان متعلق به زاویه یک درجه محاسبه کنیم اختلافی در حدود ۳۵۰ متر در محاسبه طول ۱۱۴ کیلومتری به‌وجود می‌آورد. تعجب‌آور نخواهد بود چنانچه بدانیم خطای ذاتی موجود در تجهیزات و روشهای مربوط به نظریه کاسینی مقادیر کوچکی از اختلافها (اختلاف شعاع استوایی و شعاع قطبی زمین)راکه آنها سعی می‌کردند، تا بدست آورند تحت تأثیر قرار می‌دهد و در دل خطاهای این روش نهفته است، نگاره (۹) مقادیرجدیدی از فشردگی و شعاعهای زمین (البته باکمی اختلاف نسبت به هم) و مشخصات مربوط به کره‌ای که به طور مناسب برزمین منطبق شده است را نشان می‌دهد. □



رابطه بین بیضوی اویلیت با کره جهت انطباق

پاورقی:

۱) واحد اندازه گیری مسافتهای بلند برحسب طول ورزشگاههای یونان قدیم در قبل از میلاد : stades

۲) مدار روزانهٔ ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی یا جنوبی از مدار استوا مدار رأس السرطان.

۳) واحد اندازه گیری فاصله توسط چینیان Li