

شکل زمین

نویسنده: G.R. Smith

ترجمه و تألیف: مهندس عباسعلی صالح آبادی
(عضو هیأت علمی دانشکده نقشه برداری)

نامنظم و بی‌قاعده است و فقط اقیانوسها که بخش عمده زمین را تشکیل می‌دهند دارای سطحی منظم و با قاعده هستند. بنابراین اگر تصور کنیم که سطح منظم اقیانوسها در زیر قاره‌ها نیز ادامه می‌یابد در آن صورت با یک تقریب قابل اغماض ممکن است بتوان از سطح نمایش داده شده توسط اقیانوسها به عنوان شکل زمین استفاده کرد. در حقیقت شکل چنین سطحی بسیار نزدیک به شکل کره فشرده شده در قطبین است اما این سطحی که از بسط سطح اقیانوسها در زیر قاره‌ها به دست می‌آید در ذهن سؤالاتی را مطرح می‌نماید و آن این است که سطح اقیانوسها یا سطح متوسط آبهای آزاد چیست؟

چون همان‌طور که می‌دانید زمانی که در کنار ساحل دریا به سطح آب نگاه می‌کنید ملاحظه می‌کنید که مرتباً سطح آب دریا بالا و پائین می‌رود و سطح ثابت و معینی را ارائه نمی‌دهد.

حال اگر شخصی مایل باشد بر روی کره زمینی که چنین ابعاد و شکل متغیری دارد، دو نقطه انتخاب کند که این دو نقطه فواصل زیادی از یکدیگر دارند و رابطه هندسی برقرار نماید، در آن صورت ناگزیر است که برای کره زمین شکل مناسبی طرح کند. یعنی باید زمین مستوی فرض شود تا در آن صورت در آن منطقه کوچک این رابطه برقرار باشد. اما منظور از منطقه کوچک تاجه و سعته است. این مطلب به‌طور صحیح مشخص نشده است و به یک سری عوامل همچون دقت درخواستی و نوع عوارضی که مایل به نمایش آنها در آن منطقه هستیم، بستگی دارد.

اینها عواملی هستند که باعث ابهام و بحرانی شدن مسئله می‌شوند و در هر جایی قابل تغییر هستند. بنابراین، این موضوع باعث توجه بیشتر به وسعت منطقه پوششی پروژه‌های تهیه نقشه می‌شود.

در حالی که همه می‌بینند و می‌دانند که زمین شکلی نامنظم و پیچیده‌ای دارد و حقیقتی مسلم و بی‌چون و چرا می‌باشد، اما مشکلات بسیاری بر سر راه مدوله نمودن این سطح نامنظم و نیز انجام هر نوع محاسبات بر روی آن وجود دارد.

برای کاربردهای عملی ما به شکلی منظم و یکتواخت که بسیار نزدیک به سطح توپوگرافی زمین باشد. نیاز داریم. بیاد داشته باشید که حتی توپوگرافی کوه‌های هیمالیا که دارای ۸ کیلومتر ارتفاع می‌باشند به صورت لایه‌ای نازک در مقایسه با شعاع ۶۴۰۰ کیلومتری زمین جلوه می‌کند به عبارتی اگر در توپوگرافی جهانی نشان داده شود، دارای شعاع ۲ متری است یعنی از نظر توپوگرافی، ارتفاع آن بیش از ۲۱/۲ میلی‌متر نمی‌تواند باشد.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، زمین کره‌ای (oblate spheroid) که در قطبین فشرده است در واقع کره‌ای اصلاح شده از کره واقعی و اولیه زمین است که شعاع شمالی و جنوبی آن (نصف النهاری) کمی کوچکتر از شعاع شرقی و غربی (استوایی) آن است.

اختلاف این دو شعاع در حدود ۲۲ کیلومتر است و همان‌طور که قبلاً گفته شده به علت کوچکی آن نمایش این تصحیح در مقیاس کاری بس مشکل است. بر روی کره جهانی به شعاع ۲ متر مقدار این انحراف یا اعوجاج در حدود ۷ میلی‌متر است که تشخیص آن برای چشم غیر مسلح غیر ممکن است. بنابراین در نگاره (۱) به اعوجاج افزوده شده تا وضعیت فوق به‌طور اغراق‌آمیزی، بهتر به نمایش گذاشته شود.

بررسی چنین توپوگرافی نیز بسیار پیچیده است زیرا که سطح آن بسیار



نقاط انتهایی این سه فاصله که در ارتفاعهای مختلف قرار دارند در هنگام تصویر به سطح آبهای آزاد یک موقعیت مکانی را در بر میگیرند از آن جهت که به علت یکسان بودن زاویه مرکزی (θ) طول آنها مساوی است. این نحوه تصویر در اکثر کارهای نقشه برداری و محاسبات مربوط به آنها انجام میگیرد.

اگر طول AB دارای طول 2000 متر درازا و ارتفاع 1000 متر بالاتر از سطح دریاها AB آزاد (MSL) باشد در آن صورت مقدار این طول در سطح دریاها AB آزاد برابر با $1999/68$ متر می شود. هر چند تفاوتی که در این مثال نشان داده شده است ناچیز و در حدود $0/32$ متر است اما بدیهی است که در مورد طولهای بسیار بلند این اختلاف افزایش خواهد یافت.

اگر چه که در سال 1740 میلادی مشخص گردید که زمین دارای فشردهگی است. اما اصلاح و ترمیم شکل ریاضی زمین تا بدست آوردن بهترین مقادیر برای پارامترهای مربوط به زمین کروی شکل (اسفروئید) ادامه یافت.

دانشمندان و کسانی که با آنالیز انواع مشاهدات در پی تعیین مقادیری جدید جهت پارامترهای اسفروئید (شکل) زمین بودند، سرانجام با تلاش فراوان موفق به اندازه گیری طول قوسهای انتخاب شده در منطقه «پرو» و «لابلند» شدند و بدین ترتیب نام خویش را در تاریخ علم ژئودزی به ثبت رسانیدند و با این عمل رویای تاریخی منجمین - ژئودزینها به وقوع پیوست و از این تاریخ به بعد، هر نوع ارزیابی مجدد از پارامترهای مربوط به اسفروئید و ترمیم شکل ریاضی زمین به نام شخصیت علمی برجسته ای نامگذاری گردید به همین علت نام کیلارک در اکثر کتابها و فرمولهای محاسباتی ژئودزی و نقشه برداری ذکر شده است.

حال هر کشوری که خواهان نقشه مملکتی خویش می باشد باید دارای شبکه نقشه برداری ملی به عنوان اسکلت نقشه های پوششی خود باشد و نیز باید به تکثیر نقاط مختصات دار به همراه تعیین موقعیت آنها بپردازد. برای این منظور ابتدا باید مجموعه خاصی از پارامترهای مشخص که به وسیله آنها یک شکل ریاضی همانند بیضوی بوجود می آید را در طول شبکه ملی آن کشور به سطح واقعی زمین منطبق کرد.

این بیضوی جهت تعریف معادلات ریاضی است که به وسیله آنها مختصات نقاط زمینی را بر روی یک سطح هندسی و ریاضی تکثیر می نمایند.

اگرچه تعیین شکل ریاضی فوق با پارامترهای مشخصه اش ممکن است در زمان انتخاب از بهترینها بوده باشد، و یا ممکن است به طور اجباری انتخاب پارامترها و شکل ریاضی مربوط به آن از طریق انجام یک شبکه ژئودزی ملی - منطقه ای باشد. به هر حال به هر طریقی که پارامترهای مشخصه (سطح ریاضی فوق) انتخاب شده باشند، پارامترهای جانشین جدید، یقیناً از پارامترهای قبلی بهتر خواهند بود. زیرا سطح ریاضی معرفی شده توسط پارامترهای جدید، بیشترین انطباق را با سطح واقعی زمین در منطقه تحت پوشش شبکه ملی دارد.

اما منظور از وسعت منطقه پوشش، فاصله ای است که بتوان احساس دوری از وضعیت مستوی زمین را که برای طول 1000 کیلومتری در نظر گرفته شده بین دو نقطه A و B تشخیص داده و محاسبه نمود (نگاره ۲) ملاحظه شود.

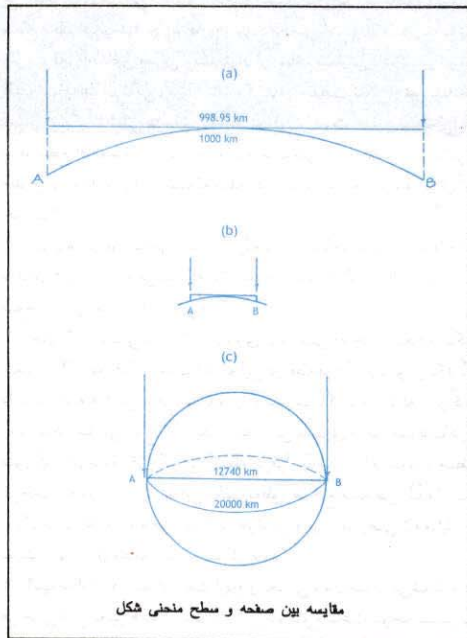
و این بدان معنی است که زمین نقشه برداری صاف و مستوی بوده و در مجاورت آن، مرکز یک برگ نقشه (صفحه) بر زمین مماس است.

اگر ما در فضا به یک چنین وضعیتی از دور توجه نماییم به طور مثال از نقطه ای در فاصله بی نهایت دور، در آن صورت مشاهده می نماییم که فاصله 1000 کیلومتری A تا B روی زمین برابر با $998/95$ کیلومتر بر روی صفحه مورد نظر است. لذا یک اعوجاج و انحرافی بیش از 1 در 1000 به وجود آمده است. حال اگر دوری در نقطه A و B به صورت:

الف - A و B در فاصله 10 کیلومتری از یکدیگر باشند در آن صورت تفاوت طول افقی از طول کمانی در حدود چند میلی متر است.

ب - A و B در نقطه در انتهای قطر استوایی زمین باشند در آن صورت فاصله ظاهری AB در حدود $1/3$ فاصله حقیقی آن است.

اما اثر اختلاف ارتفاع از سطح دریا چه نقشی بر روی طول AB دارد؟ در نگاره (۳) سه منطقه مسطح و مستوی که هر کدام با ارتفاعهای مختلف زاویه (θ) مشابهی را در مرکز زمین تشکیل می دهند.





دورانی تعیین می شود که عبارت است از تعیین اندازه برای دو محور بیضوی (a و b) است.

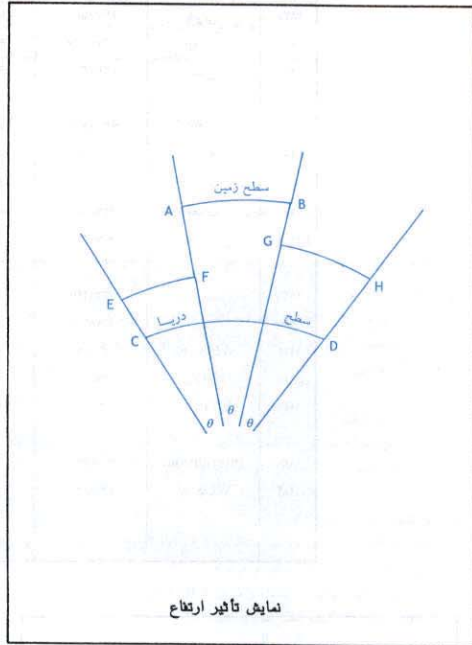
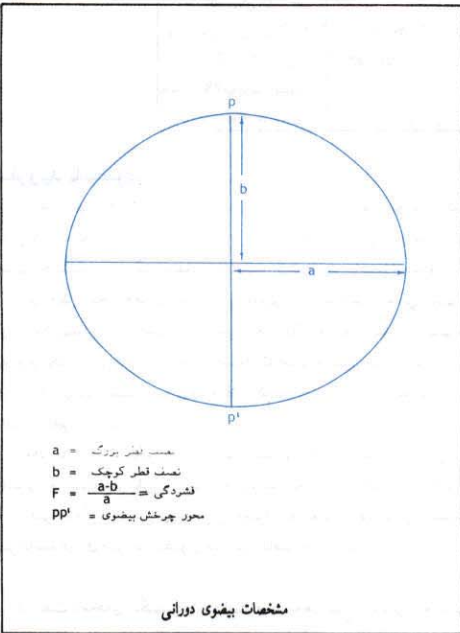
نصف قطر بزرگ بیضوی یا شعاع استوائی آن $a =$

نصف قطر کوچک بیضوی یا شعاع قطبی آن $b =$

از طرف دیگر این شکل ریاضی یا هندسی (بیضوی دورانی) را می توان به وسیله a (نصف قطر بلند بیضوی) و پارامتری به نام f (که فشردگی نامیده می شود، معرفی نمود

$$f = \frac{a-b}{a}$$

در اکثر بیضویهای تعریف شده و محاسبات ژئودزی مدرن مقداری که برای فشردگی (f) معرفی می کنند نزدیک به عدد $\frac{1}{300}$ است. جدول ذیل مقادیر مشخصه برای پارامترهای a و f بیضویهایی که در مناطق مختلف دنیا مورد قبول می باشند را ارائه می دهد.



به هر حال اولین مرحله از تکثیر نقاط مختصات دار ملی در یک کشور به انتخاب و تعیین بهترین پارامترهای مشخصه برای چنین سطحی و تغییرات مربوطه بستگی دارد، که با افزایش تراکم شبکه های ملی نقشه برداری به وجود می آیند. معمولاً تعیین آنها بسیار بحث برانگیز و یا بعید می باشد. به عنوان مثال در نیمه اول قرن نوزدهم میلادی کشور بریتانیا تلاش بسیاری را در زمینه گسترش شبکه های ملی نقشه برداری به انجام رسانید که نهایتاً منجر به تعیین پارامترهای مشخصه سطح مینا مسطحاتی ایری شد. سطح مینا هندسی ایری (Astronomer Royal sir George Airy) به نام منجم معروف دربار سلطنتی بریتانیا یعنی سر جورج ایری (Airy) است.

ادامه کار گسترش شبکه های ملی نقشه برداری مشخص کرد که این سطح مینا هندسی، انتخاب خوبی نبوده ولی این امر باعث عدم به کارگیری آن در محاسبات ریاضی مربوط به تهیه نقشه نگردید. از آن جهت که این سطح در حال حاضر سطح مینا اصلی تمامی نقشه های ملی کشور بریتانیا است.

- پارامترهای مشخصه زمین:

پارامترهای مشخصه برای زمین به وسیله یک اسفروئید (بیضوی

سال	نام	a بر حسب متر	b بر حسب متر	$\frac{a}{b}$	ناحیه کاربری
۱۸۳۰	ایرلی	۶۳۷۷۵۶۳	۶۳۵۶۲۵۷	۲۹۹/۳۲۵	کشور بریتانیا
۱۸۳۰	اورست	۶۳۷۷۲۷۶	۶۳۵۶۰۷۵	۳۰۰/۸۰۲	هندوستان - پاکستان - میانمار
۱۸۴۱	بسل	۶۳۷۷۳۹۷	۶۳۵۶۰۷۹	۲۹۹/۱۵۳	آلمان - اندونزی - هلند - ژاپن و شمال شرقی چین
۱۸۵۸	کلارک	۶۳۷۸۲۹۴	۶۳۵۶۶۱۸	۲۹۴/۲۶۱	استرالیا
۱۸۶۶	کلارک	۶۳۷۸۲۰۶	۶۳۵۶۵۸۴	۲۹۴/۹۷۸	ایالت متحده آمریکا
۱۸۸۰	کلارک	۶۳۷۸۲۲۹	۶۳۵۶۵۱۵	۲۹۳/۴۶۶	مرکز، جنوب و غرب آفریقا - فرانسه
۱۹۰۷	هلمرت	۶۳۷۸۲۰۰	۶۳۵۶۸۱۸	۲۹۸/۳۰۰	ایالات متحده آمریکا
۱۹۰۹	هاینورد	۶۳۷۸۳۸۸	۶۳۵۶۹۱۲	۲۹۷/۰۰۰	از سال ۱۹۲۲ به طور بین المللی در منطقه اروپا و شمال آفریقا به کار رفت
۱۹۲۸	کراسوسکی	۶۳۷۸۲۲۵	۶۳۵۶۸۶۳	۲۹۸/۳۰۰	کشور روسیه - کشورهای بلوک شرق
۱۹۶۰	نیشر	۶۳۷۸۱۵۵	۶۳۵۶۷۷۳	۲۹۸/۳	جنوب آسیا
۱۹۶۶	WGS -66	۶۳۷۸۱۲۵	۶۳۵۶۷۶۰	۲۹۸/۲۵	به طور بین المللی غرب اروپا و آمریکا
۱۹۶۷	IUGG	۶۳۷۸۱۶۰	۶۳۵۶۷۷۵	۲۹۸/۲۲۷	آمریکا، جنوبی و استرالیا
۱۹۷۲	WGS -۷۲	۶۳۷۸۱۳۵	۶۳۵۶۷۵۱	۲۹۸/۲۶۰	کاربرد در ژئودزی ماهواره‌ای برای ماهواره‌های دایر
۱۹۸۰	International	۶۳۷۸۱۳۷	۶۳۵۶۷۵۲	۲۹۸/۲۵۷	بهترین بیضی برای اطلاق با ژئوئید
۱۹۸۲	WGS -۸۲	۶۳۷۸۱۳۷	۶۳۵۶۷۵۲	۲۹۸/۲۵۲۲۲۵۶۳	کاربرد در ژئودزی ماهواره سطح مبنا GPS و بهترین بیضی برای اطلاق با ژئوئید در تمام دنیا

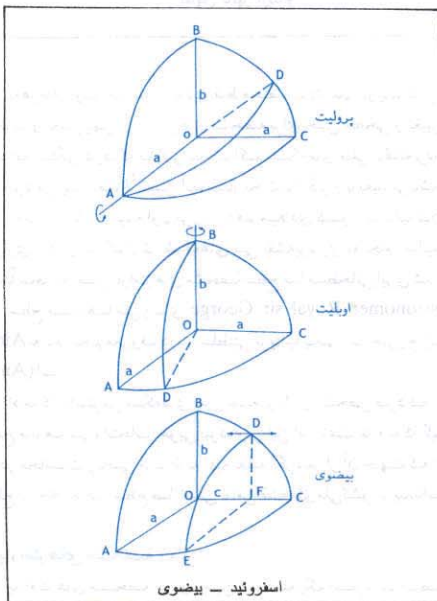
اسفروئید یا بیضوی

از نظر تفهیم، اسفروئید و بیضوی دو انتخاب مبهم جهت تعیین شکل زمین‌اند، آیا آنها اختلافی با یکدیگر دارند؟ یقیناً مقصود این است که از آنها جهت جانشینی یکدیگر استفاده نمائیم، در کتابهای ریاضی اسفروئید و بیضوی به‌طور مجزا معرفی شده‌اند. به‌طوری‌که اسفروئید ممکن است از دوران یک بیضی حول محور دورانش (محور b) به‌وجود آید در حالی‌که بیضوی یک شکلی است که تمامی صفحات عظیمه گذرنده از یک محور (محور b) بیضی است و سایر صفحات گذرنده از محور a ممکن است بیضی یا دایره باشند.

به‌رحال اگر دو محور از سه محور بیضوی یکسان باشد در آن صورت بیضوی به اسفروئید تبدیل می‌گردد و اگر سه محور اسفروئید برابر شوند در آن صورت کره حاصل می‌شود. و به‌عنوان تعریف اگر دو محور بیضوی یکی باشند در آن صورت بیضوی دورانی حاصل می‌گردد.

در لغت نامه‌های انگلیسی کلمه اسفروئید به هر نوع شکلی که کمی غیرکروی باشد اطلاق می‌گردد.

در این نوع تعریف نیازی به تعیین فرمول ریاضی برای اسفروئید مطرح نیست. اگر یک بیضوی حول قطر کوچکش دوران کند به یک شکلی که در قطبین فشرده می‌باشد به نام oblate تبدیل می‌شود و اگر همین بیضوی حول قطر بزرگش دوران کند به شکلی که در استوا فشرده است



جنوبی باشد. در زمان کشف، بعضی‌ها آن را به گلابی تشبیه نمودند اما هنوز کسانی وجود دارند که به شدت مخالف کاربرد چنین شکل غیر عادی می‌باشند. زیرا بگونه‌ای است که دارای تغییر شکل اندکی است، در حدود ۲۰ متر یا در همین حدود که در مقایسه با ابعاد و اندازه‌های جهانی ناچیز است.

ژئوئید بیشترین تطابق را با سطح بی‌قاعده و نامنظم زمین دارد. ژئوئید یک شکل ریاضی با معادله مشخص نیست بلکه یک سطح هم پتانسیل (سطح هم تراز) زمین است که تقریباً سطح دریاهای آزاد (MSL) را دنبال می‌کند.

به آن معنی که هر نقطه از سطح ژئوئید بر بردار ثقل در آن نقطه عمود است و تحت تأثیر تغییرات ساختاری زمین است. ژئوئید به سطحی ملایم و موجی شکل می‌ماند، که کاملاً شناخته شده نیست، زیرا مشاهدات ثقل روی منطقه وسیعی از زمین مخصوصاً اقیانوسها مشخص نمی‌باشد.

ابعاد این سطح هم پتانسیل که منطبق به سطح دریاهای آزاد می‌باشد همانند مقادیری است که قبلاً برای نصف اقطار بزرگ و کوچک زمین نقل قول گردید.

یعنی پرولیت (prolate) تبدیل خواهد شد، (به نگاره ۵) مراجعه شود) همان‌طور که در آن اشکال مشاهده می‌گردد. شکل اُبلیت از دوران BDO حول محور BO به وجود می‌آید. شکل پرولیت از دوران ADO حول AO ایجاد می‌شود. در بیضوی صفحه EDF به عنوان یک بیضی با اندازه متغیر موازی با صفحه AOB (از اشکال اوبلیت و پرولیت) است. با این حال امروزه در مقاله‌های علمی از انواع تقسیم بندیهای مربوط به شکل ریاضی زمین به طریق اختیاری و سلیقه‌ای استفاده می‌کنند. اما در محدوده کارها و محاسبات ژئودتیکی میل به استفاده از بیضوی و بیضوی دورانی به عنوان شکل ریاضی زمین همواره مورد قبول بوده است.

ژئوئید: در گذشته به علت نبودن دقت لازم در مشاهدات، نداشتن شناخت دقیق از کروی نبودن زمین مسئله ژئوئید به تأخیر افتاده بود.

پژوهور ماهواره‌های مصنوعی و انجام اندازه گیریهای فضائی که دارای دقت استاندارد مورد قبولی بودند. اطلاعات لازم برای حرکت از یک شکل ریاضی دو محوری به عنوان سطح مینا به شکل دیگر فراهم گردید.

در حقیقت حرکت به سوی شکلی که حتی تصورش نیز بسیار پیچیده است، (نگاره ۶) ملاحظه شود) شکلی که دارای فشردگی کمی در عرضهای متوسط شمالی و برآمدگی اندک با اندازه‌های مشابه در عرضهای متوسط

