ساختمان داخلی زمین

مهندس فریدون سرابی
استادیار زمین شناسی

شاید برای یکعده این سئوال پیش‌آید که مطالعهٔ ساختمان داخلی زمین چه فایده‌ای دارد وبفرض که فهمیدیم داخل زمین ازچه‌چیزهائی تشکیل شده، با آن چه کاری میتوانیم بکنیم؟ وچرا وقت و انرژی وپول هنگفتی راکه باید دراین راه صرف کرد درراههای دیگری که فایدهٔ اقتصادی داشته‌وظاهراً جنبه‌های عملی بیشتری دارند بکار نبریم؟

متأسفانه این‌سئوال برای خیلی اززمین شناسان هم مطرح میشود. ولی درجواب این‌عده باید گفت که اولاً این موضوع تاحد زیادی با ارضای‌حس کنجکاوی بشرارتباط دارد، وهمانطوریکه این حس باعث شده‌که بشر با وجود مسئله‌ها وگرفتاریهای مهمی که با آنها دست بگریبان است میلیاردها پول و سالهاوقت و انرژی صرف تجسس‌های فضائی بنماید بهمان دلیل هم بشر میخواهد شناسائی بیشتر ازکره‌ای که روی آن زندگی کرده وکلیه مایحتاج خود را ازآن تأمین مینماید بدست‌آورد. بشرمیخواهد بداند که زمین ازچه چیز تشکیل شده و درعین حال تا چه حد میتواند برای او مفید واقع شود ویا اینکه تاچه‌حدی تحت کنترل اوست. ثانیاً خسارتها ونتیجه‌های غم انگیزی که زلزله و آتشفشان برای بشر بار میآورد اورا وادار مینماید که برای پیش گیری ازخسارتهای ناشی ازاین دوپدیده چاره جوئی کند، وهمانطوریکه پیش گیری ازمرضی قبل ازشناختن علت آن میسر نیست بهمان ترتیب هم برای پیش بینی این دوپدیده وجلوگیری از زیانهای ناشی ازآنها باید علت آنها را درك کرد واین علت را جزدردرون زمین نبایستی جستجو نمود.

بعلاوه همانطورکه تجسس‌های فضائی باعث پیشرفت در هواشناسی وصنایع الکترونیک‌وموشک سازی‌شده وسبب گردیده که‌تسهیلاتی دراسر مخابرات وارتباط بین‌قاره‌ها پیدا شود تفحص‌های مربوط‌بداخل زمین هم‌مسلماً نتیجه‌های عملی فراوان دربر خواهد داشت. بدون شک مطالعه‌های زمین فیزیکی(۱) وترقی و توسعه فن حفاری موجب خواهد شد که با شناسائی کاملتر ساختمان داخلی زمین تئوریهای کوهزائی براساس محکمتری قرارگیرد و باکسب اطلاع بیشتر از طرز تشکیل معدنهای مختلف قدرت وتوانائی بشر برای استفاده بهتر واقتصادی‌تری از نهفته‌های‌زیرزمینی افزایش یابد وچه‌بسا که ضمن این تجسس‌ها موفق به‌نوجوئی‌هائی بشویم که درحال حاضر ازتصور ما خارج است.

---

۱) Geophysics

اختلاف نظر نسبت به‌مفید بودن یا مفید نبودن کاوشهای زمین فیزیکی مسئله تازه‌ای نیست‌واین مسئله از ابتدای پیدایش علم زمین شناسی‌وجود داشته است. درسال ۱۹۲۲ کتابی‌تحت عنوان «زمانی‌که زمین نعره کشید» (When the Earth Screamed) چاپ شد که علاوه برتائید اشتیاق بشربدانستن وضع داخلی زمین شاهدی برای وجود شک و تردید بشر نیم قرن پیش در فایده این علم میباشد. در این کتاب مؤلف از قول پرفسوری که زمین را بیک خار پوست شبیه میکند چنین میگوید «..... توجه کنید که این خارپوست چقدر شبیه بزمین‌است..... وهمانطوریکه این‌حیوان را ازوجود حشره‌های بسیار ریزی که‌ممکن است در روی آن باشند خبری نخواهد بود زمین هم از وجود انسان وسایر جاندارانی‌که برروی آن زندگی میکنند خبر ندارد..... من پیشنهاد میکنم‌که درقشر زمین گمانه عمیقی حفرکنیم تا زمین بداند که‌لااقل یکنفر در روی زمین هست‌که میخواهد خود را باوبشناساند» وقتی یکی ازشاگردان با شک وتردید ازفوائد چنین کاری سئوال میکند پرفسور عصبانی شده ومیگوید:

«علم درجستجوی شناسائیهای جدیدی‌است تا شاید بتواند بما بگوید که‌ما چه هستیم، چراهستیم وکجا هستیم، آیا این برای توکافی نیست؟»

بحث درباره ساختمان داخلی زمین را میتوانیم بدوقسمت تقسیم کنیم:

I ـ درحال حاضر راجع بزمین چه میدانیم واین شناسائی‌ها را چگونه بدست آورده‌ایم.

II ـ اشکال اساسی شناسائی‌زمین وخلاءهائی‌که در شناسائی امروزی بشرنسبت بدان وجوددارد چیست وچگونه میتوان درصدد رفع این اشکالها برآمد.

I- شناسائی‌های‌فعلی بشرنسبت‌بزمین

۱- شکل واندازه زمین ـ برای تعیین اندازه وشکل زمین اصولا از اینطریقه استفاده میشود که‌ازدو نقطه معین دریک لحظه مشخص بخورشید ویا بیک ستاره ثابت قراولروی میکنیم. حالا اگر این‌اندازه‌گیری درموقعی انجام شود که خورشید یا ستاره ثابت بالای امتداد قائم مکان یکی ازاین دونقطه مثلا بالای نقطه A (شکل ۱) قرار گرفته باشد مسئله ساده‌تر میشود وملاحظه میکنیم که بین فاصله قوسی دو نقطه مفروض وشعاع زمین وزاویه مرکزی دونقطه رابطه زیر برقرار است:

$$\widehat{AB}=R\cdot\theta$$

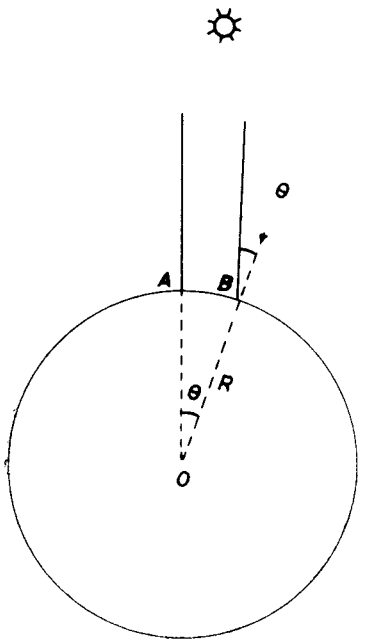
برمبنای این طریقه ولی بااندازه‌گیریها وتکنیکهای دقیقتر امروزه اندازه زمین باتقریب نسبتاًخوبی محاسبه شده وشعاعهای اصلی آن عبارتند از:

شعاع استوائی = ۶۳۷۸٫۳۸۸ کیلومتر

شعاع قطبی = ۶۳۵۶٫۹۱۲ کیلومتر

ملاحظه میشود که قطب‌های زمین بمرکز نزدیکتر هستند. بنابراین با تقریب کافی زمین‌را میتوان بیک بیضوی دورانی تشبیه کرد، ولی شکل واقعی زمین با شکل یک بیضوی دوار نیز متفاوت است‌وبطور

کلی باید گفت که شکل زمین یا «زمین نما»[۲] مطابق تعریف سطحی است که درهرنقطه برامتداد قائم مکان عمود میباشد.



شکل ۱ : اصول اندازه‌گیری قطر زمین

۲- وزن کل و وزن مخصوص متوسط زمین - یکی دیگر از دانستنیهای ما نسبت بزمین وزن (M) آن‌است که با توجه بمقدار متوسط کشش جاذبه (g) و شعاع متوسط (R) زمین میتوان آنرا بوسیلهٔ فورمول نیوتن $g=۲.M/R^{۲}$ محاسبه نمود وسپس با درنظر گرفتن حجم زمین وزن مخصوص متوسط زمین (ρ) راحساب کرد این دومقداربترتیب برابراند با:

$$M = ۵۹۶۶ \times ۱۰^{۲۱} \text{ تن}$$
$$\rho = ۵۵۱۷ \text{ سانتیمترمکعب/گرم}$$

با توجه باینکه وزن مخصوص سنگهای سطحی زمین بین ۲٫۷ تا ۳ میباشد ملاحظه میکنیم که داخل زمین ازجسم های سنگینتری تشکیل شده است باین علت توزیع وزن مخصوص در درون زمین مسئله نسبتاً مشکلی را تشکیل میدهد که بعداً راجع بآن بحث خواهد شد.

۳- سن زمین - بدون اینکه وارد بحث در متدهائی که قبلا بکار برده میشدند بشویم متذکر میشویم که کمترین برآوردی که راجع بعمر زمین یعنی مدت زمانی که از پیدایش آن میگذرد شده بوسیله یکنفرانگلیسی است واوتاریخ ساعت ۹ صبح روزجمعه ۱۷ سپتامبرسال ۴۰۰۰ قبل ازمیلاد را تاریخ تولد زمین دانسته است که البته اساس ندارد، ولی بتدریج متد های علمی جانشین برآوردها وخیال پردازهای قدیمی شد و امروزه برای تعیین سن سنگها و بالنتیجه تعیین سن زمین از تجزیه عنصرهای رادیواکتیو[۳] استفاده میشود مثلا ایزوتوپهای[۴] مختلف اورانیوم (U) دراثریک رشته تحول تدریجی بایزوتوپهای مختلف ومعین سرب (Pb) تبدیل میشوند:

$$U^{۲۳۸} \longrightarrow Pb^{۲۰۶}$$
$$U^{۲۳۵} \longrightarrow Pb^{۲۰۷}$$

ویا اینکه تحول های رادیواکتیو دیگری ازقبیل تجزیه توریم (Th)، روبیدیم (Rb) وپتاسیم (K) وجود دارد که ازآنها بترتیب سرب، استرونسیم (Sr) وآرگن (A) نتیجه میشود:

$$Th^{۲۳۲} \longrightarrow Pb^{۲۰۸}$$
$$Rb^{۸۷} \longrightarrow Sr^{۸۷} \qquad \text{و} \qquad K^{۴۰} \longrightarrow A^{۴۰}$$

سرعت این تجزیه ها امروزه باتقریب کافی معلوم است ومثلا میتوان حساب نمود که از a گرم $U^{۲۳۵}$ پس از

---

۲) Geoïd

۳) عنصرهای رادیواکتیو آنهائی هستند که دراثر تشعشع ساختمان اتمی آنها تغییر کرد وبعنصرهای دیگری که سبکترند تبدیل میشوند.

۴) ملکول ایروتوپ های یک عنصر که دارای خاصیت شیمیائی یکسان وبنابراین دارای تعداد پروتن های مساوی هستند ولی تعداد نوترون آنها باهم متفاوت است واین اختلاف موجب اختلاف وزن اتمی آنها درعین یکسانی خاصیتهای شیمیائی است.

n سال چه‌مقدار Pb^{207} بدست میآید و همانطور میتوان برای سایر ایزوتوپها این نسبت را با در نظرگرفتن ضریب‌های آن محاسبه کرد. بنابراین ازنمونه سنگی که تحت تأثیرعامل های مخرب بعدی یعنی فرسایش(۵) ودگرسانی(۶) قرار نگرفته باشد میتوانیم با تعیین نسبت بین محصول نهائی و ماده اولیه مدت زمانی راکه تجزیه آن ماده رادیو اکتیوادامه داشته (بعبارت دیگر عمرنمونه) است‌بدست‌آوریم.

با توجه باینکه پتاسیم یکی از فراوانترین عنصرها در سنگهای آذرین میباشد ملاحظه میکنیم که طریقه K^{40} میتواند برای تعیین سن سنگها بسیار مفید واقع شود.

براساس این روشها سن پیرترین سنگهائی که در روی زمین یافت شده‌اند درحدود $۳٫۳ \times ۱۰^{۹}$سال محاسبه شده است با دلائل دیگری که در دست است تصور میرود که عمر زمین بین ٤ تا ٥ بیلیون سال بوده باشد.

بعنوان نمونه باید گفت که مثلا دورهٔ یخچالی دوران چهارم تا ۱۰٫۰۰۰ سال پیش ادامه‌داشته وعمر نسل بشر امروزی باحتمال قوی بیش از ۱۰۰٫۰۰۰ سال نیست.

٤ـ ترکیب‌وساختمان‌داخلی زمین‌ـ یکی‌دیگرازشناسائی های‌ماراجع بزمین نوع سنگها وتوزیع جغرافیائی آنها درسطح وعمق زمین است وخوشبختانه با حفاری هائی که برای اکتشاف واستخراج نفت‌شده شناسائی نسبتاً دقیقی تا عمق ۷-۸ کیلومتری از سطح زمین نسبت بجنس سنگها وتوزیع آنها در دست است، و باز هم با مطالعه هائی که برای معادن مختلف وبمنظورزمین شناسی شده اولین امری که روشن شده‌است ترکیب متوسط قسمت بالائی پوسته زمین است که بطورمتوسط خیلی‌شبیه بترکیب متوسط گرانیت(۷) هااست وبازهم ملاحظه‌شده که یک اختلاف‌اصولی بین‌سنگهای‌قاره هاوسنگهای زیر اقیانوسها وجوددارد باین‌معنی که‌سنگهای قاره‌ها بیشتردارای ترکیب گرانیتی هستند ووزن‌مخصوص‌آنهادرحدود ۲٫۷ است درصورتیکه سنگهای زیر اقیانوسها بیشتر ازنوع بازالتها(۸) است که وزن مخصوص آنها ۳ یا ازسه بیشتر است وتصور میرود که این قشر بازالتی در زیر قشر گرانیتی قاره‌ها وجود داشته باشد.

دومین اطلاع مستقیم ماراجع بترکیب‌داخلی زمین که‌تاحدی مؤید مطلب بالا است‌آتش‌فشانهای فعال هستند.

درحال حاضر بیش ازششصد آتش فشان فعال وجود دارد که درهرسال لااقل چندتای آنها آتش

---

۵) فرسایش (Erosion) : شامل کلیه تحول‌هائی میشود که سبب خرد شدن و تجزیه سنگ اولیه و نقل وانتقال آنها بنقطه دیگری میگردد.

۶) دگرسانی (Alteration) : تغییرهائی که درسنگها درنتیجه اثر آبهای‌سطحی وهوا ویا محلولهای گرمابی صورت میگیرد.

۷) گرانیت(granite) بمعنای اعم‌بسنگ‌آذرین نفوذی‌واسیدی اطلاق‌میشود که ازکوارتر(Sio_2) فلدسپاتهای پطاسیک (آلومینوسیلیکاتهای پطاسیم)وپلاژیوکلازها (آلومینوسیلیکاتهای سدیم‌وکلسیم) ومقداری‌میکاوکانیهای‌فرعی دیگر تشکیل شده باشد.

۸) بازالت (Basalt) عبارت‌ازسنگ‌آذرین خروجی یا نیمه عمیق قلیائی است که‌قسمت‌عمده آن‌ازسیلیکاتهای طبیعی آهن ومنیزیم تشکیل شده است (پروکسن‌ها والیوین وبمقدارکمتری آمفیبل‌ها وپلاژیوکلازهای قلیائی)

فشانی میکنند واین آتش‌فشانها تنها وسیله اطلاع مستقیم ما ازماده‌های موجود درزیر زمین میباشد. ملاحظه میشود که جنس گدازه‌ای که ازآتش‌فشانها خارج میشود برحسب عمق ومحل آتش‌فشانها متغیراست یعنی ازآنهائی که درقاره‌ها هستند وعمقشان کم است گدازه‌های ریولیتی[۹] خارج میشود وازآتش فشانها اقیانوسها وآنهائی که درقاره‌ها هستندولی ماده‌مذاب ازعمق های زیاد خارجی‌میشود گدازه‌های بازالتی‌فوران میکند. اطلاع دیگری‌راکه ازآتش‌فشانها بدست میآید درجه‌حرارت درداخل زمین‌است که‌درعمقهای ۱۰ الی ۳۰ کیلومتری مسلماً درجه حرارت از ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد متجاوزاست.

سومین راهنمای ما برای تعیین ترکیب داخلی زمین سنگهای آسمانی هستند. بدون اینکه وارد جزئیات مطلب‌شویم باید گفت که امروزه تصورمیرود ستاره‌وارها[۱۰] (که عبارت ازقطعه های جامد کوچک وبزرگی میباشند که بین مریخ و مشتری قرار دارند وهمراه با سایر سیاره‌های منظومه شمسی بدور خورشید میچرخند) باقیمانده یک ستاره متلاشی شده ازاین منظومه هستند. وتصورمیرود که سنگهای آسمانی که‌دائماً بزمین اصابت میکنند قطعه‌هائی از این ستاره وارها هستند. حالا اگر قبول کنیم که تمام منظومهٔ شمسی از یک منشاء و در نتیجه یکنوع تحول بوجود آمده است بنابراین با مختصر اختلافی که مربوط بحجم و جرم سیاره های مختلف است بایستی تمام سیاره های منظومه شمسی دارای ترکیب و ساختمانی شبیه بهم باشند.

وقتی ترکیب سنگهای آسمانی راکه بازمین‌اصابت میکنند درنظربگیریم ملاحظه میکنیم که‌آنهارا میتوان بدو دسته تقسیم کرد یکی سنگهای آسمانی خاکی که از نظر ترکیب ازسیلیکاتهای مختلف تشکیل شده وخیلی شبیه بسنگهای سطحی زمین‌هستند دوم سنگهای‌آسمانی فلزی یاآهنی که قسمت عمده‌آنها ازآهن وبقیه‌آن ازنیکل ومقدارکمی سایر فلزات تشکیل‌شده است. با مقایسه میتوان‌استدلال کرد که قسمت‌داخلی زمین هم ممکن است ازمخلوط یا آلیاژی ازآهن ونیکل‌تشکیل شده باشد. بعلاوه بررسیهائی که روی‌ساخت و بافت سنگهای آسمانی شده نشان میدهد که اولاً بین دوحد سنگهای آسمانی خاکی وفلزی همه نوع حد فاصلی وجود دارد وثانیاً این سنگها از زمان‌تشکیل تاکنون‌ازیک مرحله‌آبگونی نسبتاً طولانی‌عبورکرده‌اند وبعلاوه معلوم میشود که سنگهای آسمانی خاکی سریعتر ازسنگهای آسمانی فلزی سرد ومتبلور شده‌اند.

نتیجه‌های بالا یا از مشاهده‌ها وآزمایشهای مستقیم بدست‌آمده‌اند ویا ازروی تشابهی که بین‌زمین و سایر سیاره های منظومه شمسی وجود دارد نتیجه گیری شده و بر اساس آنها ترکیب داخلی زمین را حدس زده‌ایم.

چهارمین راهنمای ما برای درك ترکیب و ساختمان داخلی زمین برعکس راهنماهای فوق قابل مشاهده ودرك مستقیم نیست واتفاقاً این دلیل مهمترین عاملی است که ازآن درشناسائی‌داخل زمین‌استفاده

---

۹) ریولیت (Rhyolite) عبارت از سنگ آذرین خروجی یا نیمه عمیق و اسیدی است که دارای ترکیب مینرالوژیک وشیمیائی گرانیت است.

۱۰) Asteroïds

میشود. میدانیم که موجهای صوتی وقتی در یک نقطه ایجاد میشوند اگر چنانچه اطرافشان همگن باشد با سطح موجهای کروی وبا سرعت ثابت برای هرملاء مفروض باطراف منتشر میشوند ولی وقتی که محیط انتشار موج تغییر پیدا کند (مثلاً درفصل مشترك دوملاء مختلف که دارای خاصیت‌های فیزیکی متفاوتی هستند) قسمتی ازاین موج ها منعکس ومنکسر میشوند که موجهای منکسره درداخل ملاء دوم باسرعتی غیرازسرعت ملاء اول منتشر خواهد شد واین سرعت بستگی به مشخصه‌های آن ملاء دارد. بنابراین اگربتوانیم سرعت موج معینی را درعمق دلخواهی از زمین بدست آوریم خواهیم توانست جنس ماده را درآن عمق حدس بزنیم.

صرفنظر از موجهای سطحی بطورکلی دونوع موج مختلف وجود دارد یکی موج طولی یااولیه (P) که درآنها جهت نوسان بموازات جهت انتشار موج است ودیگری موج عرضی یاثانوی (S) که جهت نوسانش عمود برجهت انتشار است. نسبت بین سرعت این دوموج درهرمحیط معین مقداریست ثابت واین مقداردرزمین بطور تقریب برابراست با :

$$\frac{V_P}{V_S} = \sqrt{3}$$

خاصیت خاص موجهای عرضی این است که این موجها نمیتوانند ازمایعات عبورکنند ویا بگفته دیگر اگر موجهای عرضی نتوانند از ملائی عبور نمایند یا آن ملاء مایع است ویا اینکه از نظر صلبیت دارای خاصیت مایع‌ها میباشد. با استفاده ازاین خاصیت موجهای عرضی میتوانیم اطلاعی راجع بداخل زمین بدست‌آوریم. زلزله‌ها با وجود آثار دهشتناکی که ببار میآورند و سبب کشته شدن عده زیادی میشوند ازنظر اطلاعی که راجع بوضع داخلی زمین در دسترس ما قرار میدهند خیلی مفید هستند زیرا همراه با زلزله ها همواره انرژی زیادی بصورت‌موج منتشر میشود که اگربرخورد این‌موجها با سطح زمین سبب تخریب میگردد ولی درعوض بعلت همان‌انرژی زیادی که دارندمیتوانند قبل ازآنکه خاموش وغیرمحسوس شوند چندین بار قطر ویا دورادور زمین راطی نمایند وهمین امر و ضبط آن‌وسیلهٔ پرارزشی برای شناسائی اعماق زمین دراختیار ما میگذارد.

برای ثبت موجهای زلزله دستگاههائی باسم زلزله نگار بکار میرود وبااستفاده ازمتدهای بخصوصی میتوان از روی منحنی‌های ثبت شده اطلاعهائی راجع به محل زلزله وازهمه مهمتر راجع بنوع موجهاومسیر وسرعت آنها درعمقهای مختلف زمین بدست‌آورد.

نتیجه‌های اصلی که ازمطالعهٔ نوشتاهای زلزله‌نگاری بدست میآید ازاین قرار است:

الف ـ سرعت سیرموجهای P و S برحسب عمق افزایش می‌یابد.

ب ـ درعمقی بین ۱۰ تا ۶۰ کیلومتر ازسطح زمین اصولاً یک بریدگی[۱۱] فیزیکی تشخیص‌داده میشود که عکس العمل آن در برابر موجهای زلزله کاملاً متفاوت است و علت آن نیز تغییر ناگهانی نوع وجنس زمین است.

ج ـ درعمق ۲۹۰۰ کیلومتری ازسطح زمین بریدگی خیلی‌مشخص ومعینی وجود دارد که درنتیجه

---

۱۱) Discontinuity یعنی محلی که مشخصه‌های ناحیه یکباره تغییر میکند.

آن موجهای عرضی دیگر نمیتوانند از این عمق بطرف پائین انتشار یابند. بگفته دیگر حالت فیزیکی زمین بلافاصله درعمق بیش از ۲۹۰۰ کیلومتری یا مایع است ویا اینکه طوری است که دارای خاصیت مایعها میباشد.

د - درعمق ۵۱۲۰ کیلومتری باز هم یک بریدگی اصلی وجود دارد زیرا دلائلی در دست است که موجهای عرضی حاصل از انکسار موجهای طولی که در آن عمق بوجود میآید از قسمت مرکزی زمین عبور میکنند و یا بگفته دیگر درون هسته که آنرا مغزه زمین اصطلاح میکنیم برخلاف قسمت بیرونی هسته جامد است.

نتیجهٔ دیگری را که میتوان ازوجود زلزله‌ها بدست‌آورد اینست که جنس تشکیل دهنده زمین لااقل تا عمق ۷۰۰ کیلومتری دارای خاصیت ارتجاعی (بازجهش) است وگرنه زلزله‌هائی که کانون آنها درچنین عمقهائی باشد نمیتوانستند وجود داشته باشند وحال آنکه عملاً چنین زلزله‌هائی ثبت وتشخیص داده‌شده‌اند.

ناحیه	عمق برحسب کیلومتر	درصد حجم زمین	مشخصه
پوسته زمین	(۱) پوسته ۳۳	۱/۵۵	غیریکنواخت
گوشته	(۲) روگوشته ۴۱۳	۱۶/۶۷	احتمالا یکنواخت
	(۳) میانگوشته ۹۸۴	۲۱/۳۱	ناحیه حد فاصل (گذر)
	(۴) درون‌گوشته ۲۹۰۰	۴۴/۲۸	احتمالا یکنواخت
هسته خارجی	(۵) ۴۹۸۰	۱۵/۱۶	یکنواخت وظاهرا مایع
	(۶) ۵۱۲۰	۰/۲۸	قشرحد فاصل
مغزه	(۷) ۶۳۷۸	۰/۷۶	یکنواخت وجامد

جدول ۱ : ومشخصه های کلی بریدگیهای مهم واصلی زمین

با توجه بمطالبی که ذکر شد میتوانیم یکنوع طبقه‌بندی برمبنای بریدگیهای اصلی زمین تشخیص وتعیین کنیم. این طبقه‌بندی روی شکل ۲ وجدول ۱ نمایش داده‌شد وشکل ۳ منحنی تغییر سرعت موجهای زلزله را برحسب عمق نشان میدهد. این قشرهای مختلف زمین از بالا بپائین بترتیب عبارتند از:

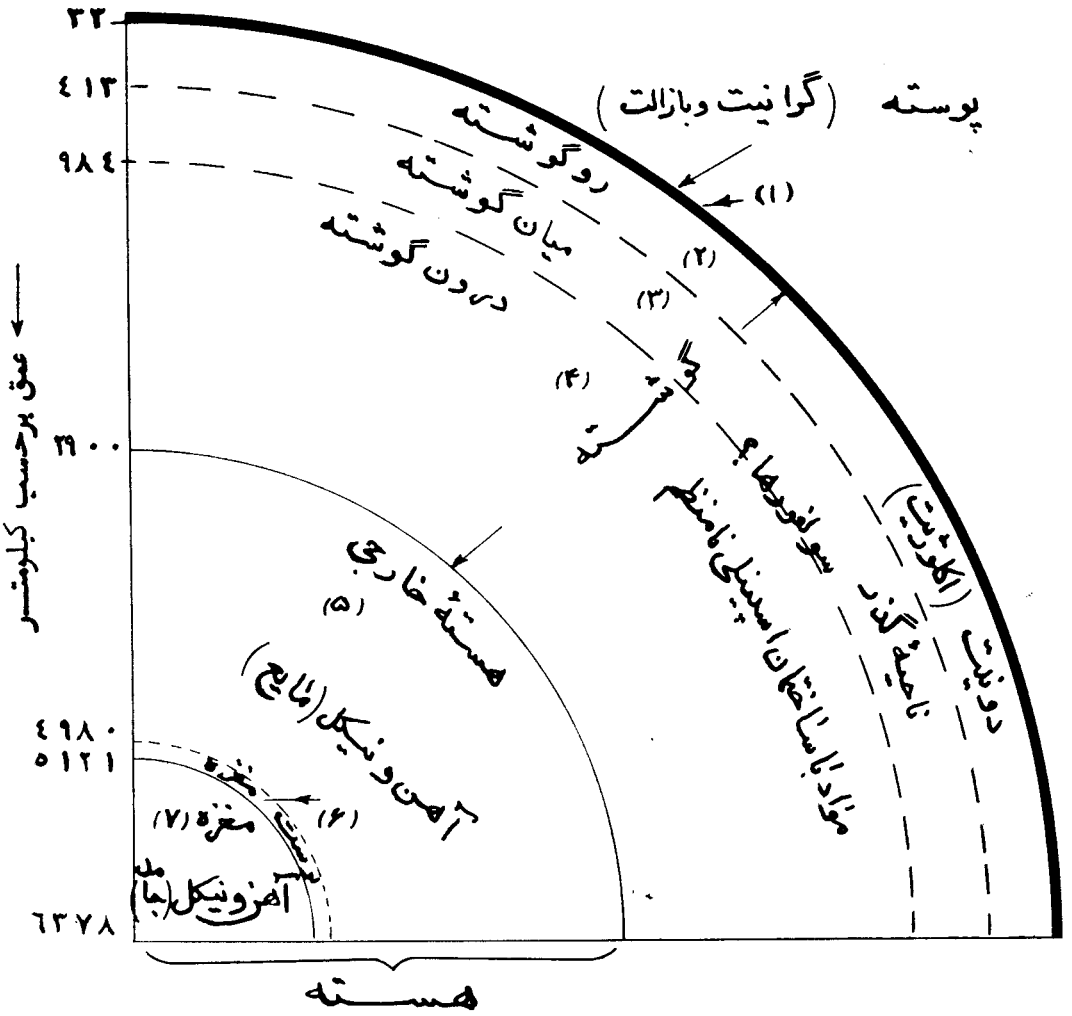
a - پوسته یا قشر زمین بضخامت متوسط ۳۰ کیلومتر.

b - گوشته که بیش از ۸۲ درصدحجم زمین را تشکیل میدهد واز زیر پوسته تاعمق ۲۹۰۰ کیلومتری ادامه دارد.

c ـ هسته که بقسمتی از زمین که در درون گوشته قرار دارد اطلاق میشود و خود آن بدو ناحیه تقسیم میگردد :

I ـ هسته خارجی که بین عمقهای ۲۹۰۰ و ۵۱۲۰ کیلومتری قرار دارد وظاهراً بعلت عدم‌انتشار موجهای عرضی مایع است.

II ـ مغزه که کره‌ای است بشعاع ۱۲۵۰ کیلومتر وازعمق ۵۱۲۰ کیلومتری شروع میشود وازنظر انتشار موج دوباره خاصیت جسم جامد را دارد.



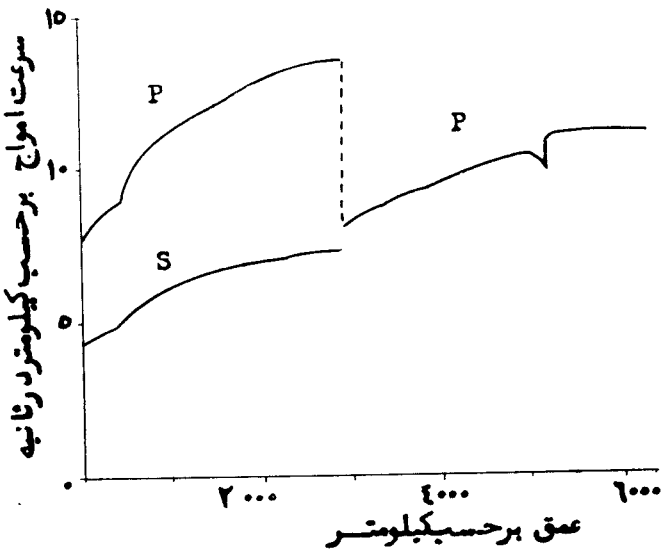
شکل ۲ : ساختمان داخلی زمین

قبل ازاینکه هریک‌ازاین قشرها را شرح دهیم وبرید گیهای درجه‌دوم موجود درآنها را ذکرکنیم لازم است که راجع بپوسته زمین توضیح بیشتری داده شود. مطابق‌فرضیه هم‌فشاری[۱۲] پوسته زمین‌درروی گوشته بحال تعادل شناور میباشد و وقتیکه اختلاف وزن مخصوص سنگهای پوسته را برحسب عمق برای

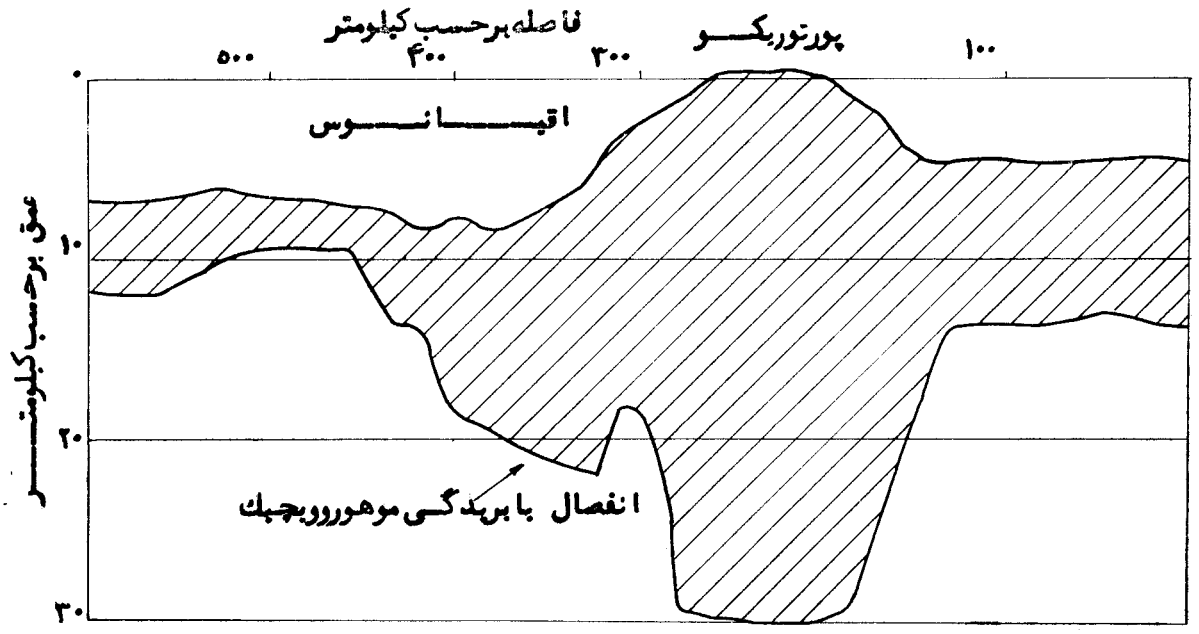
---

۱۲) Isostasy

ناحیه‌های مختلف (یعنی زیر اقیانوسها و زیرخشکیها) درنظربگیریم میتوانیم با محاسبه‌نشان دهیم که پوسته زمین درقاره‌ها ضخیم‌تر از پوسته زمین در زیر اقیانوس ها است ویا باصطلاح بلندیها و کوههای زمین دارای ریشه هستند و کوهها بین ۵ تا ۱۰ برابر ارتفاعی که ازسطح دریا دارند در داخل گوشته زمین فرورفته‌اند. بعبارت دیگر باید نتیجه گرفت که پوسته زمین در زیر دریا های عمیق از هرمحل دیگری نازکتر و در زیر کوههای مرتفع ازهرمحل بیشتراست و کمترین ضخامت پوسته در زیراقیانوسها درحدود هشت کیلومتراست.



شکل ۳ : منحنی نمایش تغییرسرعت موجهای طولی وعرضی برحسب عمق در داخل زمین.



شکل ٤ : کلفتی پوسته زمین در حوالی پورتوریکو

با آنچه که گفته شد باین نتیجه میرسیم که اولین بریدگی زمین یعنی فصل مشترك بین پوسته و گوشته زمین برخلاف سایربریدگیها یک سطح کره مانند نیست بلکه یک سطح نامنظمی است که برآمدگیها و گودیهای متعدد دارد . این بریدگی را بافتخار Andrija Mohorovicic استاد سابق دانشگاه زاگرب در یوگوسلاوی که برای اولین باردرسال ۱۹۰۹ موفق بکشف آن شد بریدگی موهوروویچیک یا بطوراختصار بریدگی موهو (Moho) مینامند . شکل ٤ تغییر کلفتی پوسته زمین را درحوالی پورتوریکو که جزیره‌ای ازدسته جزیره‌های آنتیل واقع در دریای کارائیب (امریکای مرکزی) میباشد نشان میدهد:

از نظر ترکیب امروزه همه زمین شناسان توافق دارند که پوسته زمین ازمخلوطی ازگرانیت وبازالت تشکیل شده که فقط درنحوه قرارگرفتن این دو نوع سنگ اختلاف نظرهائی هست . بعضی معتقدند که این دو دارای لایه‌بندی منظمی هستند درصورتیکه عده‌ای اعتقاد دارند که هیچ نوع نظمی در قرار گرفتن آنها وجود ندارد .

وقتی گوشته را درنظر بگیریم ملاحظه میکنیم که درداخل آن نیز دوبریدگی فرعی وجود دارد که بترتیب درعمقهای ۱۳ ٤ و ٤۸۹ کیلومتری هستند . روگوشته (۲) و درون گوشته (٤) ناحیه های همگنی میباشند درصورتیکه ناحیه میان گوشته (۳) درحکم ناحیه گذر و واسط بین (۲) و (٤) بوده ودراین ناحیه تغییرخاصیت ها از (۲) به (٤) تدریجی است .

تعیین ترکیب گوشته زمین وهمچنین تشخیص وضع فیزیکی آن یکی از مسئله های مهم و اساسی علم زمین فیزیک است وامروزه عده زیادی از دانشمندان این علم معتقدند که روگوشته زمین ترکیبی نظیر دونیت[۱۳] دارد وتجربه هائی که درآزمایشگاهها روی دونیت درفشارهای زیاد وحرارتی نظیر حرارت روگوشته بعمل آمده است نشان میدهد که سرعت سیر موجها با سرعت سیر حقیقی موجهای زلزله‌ای در عمق نظیر روگوشته تطبیق میکند وبعلاوه وزن مخصوص دونیت هم درحدود وزن مخصوصی است که برای این قشر محاسبه وتعیین شده است . درمورد ناحیه (٤) بیشتر تصور میرود که از اکسیدها وسیلیکاتهای آهن ومنیزیم وسایر عنصرهائی که درحرارت وفشار موجود در زیرگوشته پایدار هستند تشکیل شده باشد .

از نظر خاصیت های فیزیکی باید گفت که جنس گوشته یک قسمت متبلور وقسمتی شیشه‌ای است ولی ازنظر وضع فیزیکی بدلیلهای زیادی میتوان گفت که گوشته اصولاً جامد است .

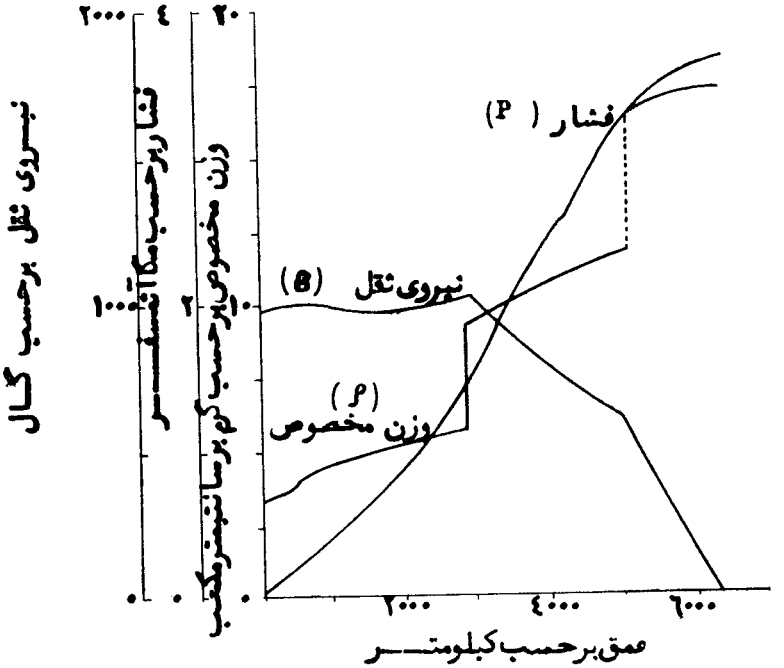
هسته زمین ازآلیاژهای آهن ونیکل تشکیل شده با این تفاوت که هسته خارجی دارای خاصیت مایع است ومغزه بنظر جامد میآید . دلیلی که مایع بودن هسته خارجی را تأیید میکند مقدار جذر ومد خشکیها است بدینمعنی که درموقع جذر ومد همانطوریکه آب دریاها ارتفاعشان تغییر میکند پوسته زمین هم بالا و پائین میرود منتهی چون پوسته زمین جامد است و مقدار این تغییرها ناچیزاست نمیتوانیم آنرا به‌بینیم ولی تغییرها

---

۱۳) Dunite عبارت ازسنگ آذرینی است که بیش از ۹۰ درصد آن ازالیوین ها (سیلیکاتهای آهن ومنیزیم) تشکیل شده باشد .

قابل اندازه گیری میباشند. محاسبه نشان میدهد که اگر تمامی زمین جامد بود مقدار جذر و مد آن از مقدار واقعی اندازه گیری شده کمترمیشددرصورتیکه بافرض مایع بودن هسته خارجی این اشکال وجود نخواهدداشت.

۵- توزیع وزن مخصوص درداخل زمین - واضح است که جنس زمین ووزن مخصوص آن با هم ارتباط دارد وهرگاه جنس ماده معلوم شد وزن مخصوص آن را هم میتوان با دقت کافی بدست آورد. برای محاسبه وزن مخصوص چند عامل را باید درنظرگرفت. اولاً اینکه زمین دارای تقارن کروی است ثانیاًوزن مخصوص متوسط زمین و وزن مخصوص سنگهای سطحی زمین دردست است. ثالثاً وزن مخصوصی که برای قشر های واقع در عمق های مختلف تعیین میشود و وسیلهٔ حدس نوع و بنابراین تعیین سرعت موج درآنها است بایستی با سرعت سیر موجها در آن عمق متوافق باشد. رابعاً موضوع دیگری که میتوان از آن برای تعیین تغییر وزن مخصوص ها درعمق استفاده کرد لنگر لختی (لنگر ماند) (۱۴) محوری زمین است. بامحاسبه



شکل ۵ : منحنی تغییرفشار نیروی جاذبه ووزن مخصوص زمین برحسب عمق .

معلوم میشود که این گشت‌آور برای یک سطح کروی توخالی بجرم m وبشعاع R برابربا $۰/۶۶۷mR^۲$ وبرای یک کره توپر همگن مساوی $۰/۴mR^۲$ است. با توجه باینکه گشت‌آورلختی محوری زمین که براساس نجومی از روی مقدار فرار ماه اززمین محاسبه شده برابر $۰/۳۳۴ mR^۲$ استملاحظه میشود که زمین باید کره‌ای باشد که ماده‌های سنگینتر آن بمرکز کره نزدیکترهستند وبعلاوه ضروری است که جمع گشت‌آورهای لختی محوری

۱۴) لنگر لختی، لنگرماند یا گشت‌آور ماند هرسه لغت‌هائی هستند که درفارسی بجای لغت Moment of Inertia بکار رفته‌اند.

قشرهای مختلف برابر با گشت‌آور لختی کل زمین باشد. با استفاده از تکنیکهای مختلفی که در بالا بدان اشاره شد وزن مخصوص قشرهای مختلف زمین برحسب عمق محاسبه گردیده وشکل ۵ علاوه برمنحنی تغییر وزن مخصوص زمین برحسب عمق منحنی‌های نمایش تغییر فشار ونیروی جاذبه زمین را نیز با عمق که براساس تغییروزن مخصوص باعمق محاسبه وتعیین شده نشان میدهد. اگر در منحنی وزن مخصوص دقت کنیم می‌بینیم که درفصل مشترک گوشته وهسته زمین وهمچنین درفصل مشترک هسته خارجی ومغزه تغییرهای ناگهانی دروزن مخصوص ظاهر میشود.

برای محاسبه تغییر فشار کافی است که فشار طبقه های روئی هر نقطه را محاسبه کنیم و ملاحظه میشود که درمرکز زمین فشار به‌چهار میلیون اتمسفر میرسد.

برای تعیین نیروی جاذبه درهرنقطه با طریقی مشابه وساده میتوانیم تغییرهای آن را حساب کنیم وملاحظه میشود که تا عمق ۲۹۰۰ کیلومتری تقریباً مقدار آن ثابت است وپس ازآن جاذبه بسرعت کم‌شده ودرمرکز زمین بصفر میرسد.

۶- حرارت زمین - معلوم شده است که لااقل درمجاورت سطح زمین بطور متوسط بازاء هر کیلومتر عمق ۳۰ درجه سانتیگراد بدرجه حرارت زمین اضافه میشود. این افزایش درجه‌حرارت مقداری مربوط بحرارت خود زمین ومقداری مربوط بتجزیه ماده‌های رادیواکتیو موجود درپوسته واحتمالاً گوشته زمین است. باین ترتیب برآورده شده که درجه حرارت مرکز زمین لااقل درحدود ۱۵۰۰ و حداکثر ۳۹۰۰ درجه سانتیگراد است (طبق نظریه برخی از دانشمندان که در سال ۱۹۶۴ منتشر شده حرارت طبقه های زمین بعلت قشری از مادهٔ رادیو اکتیو است که در عمق ۱۰۰ کیلو متر از سطح زمین وجود دارد و بفرض صحت این نظریه درجه حرارت زمین در اعماق کمتر بوده وشاید درمرکز زمین درحدود صفر درجهٔ مطلق بوده باشد. این نظریه باآنچه تاکنون مورد قبول اهل فن بوده مغایرت کامل دارد).

آنچه تاکنون ذکرشد اطلاعاتی است که مورد قبول بشر امروزی دروضع حاضراست وبا وجودآنکه تمام این نظریه ها دروضع حاضرمنطقی جلوه میکند بعیدنیست که پس ازچندسال نظریه های جدیدتری جانشین نظریه های فعلی گردد و از این نظر وضع ما با سال ۱۸۶۴ که کتاب ژول ورن تحت عنوان «سفری بمرکز زمین» چاپ‌شد زیاد تغییری نکرده‌است. ژول‌ورن اززبان یکنفر دانشمنددرباره وضع داخلی زمین چنین میگوید:

«..... نه‌تو ونه هیچکس دیگر را اطلاع دقیقی راجع بآنچه در داخل زمین میگذرد نیست، زیرا ما فقط بقسمت کوچکی از زمین دسترسی داریم .... ولی محققاً دراثر پیشرفت علم تئوریهای جدید جانشین تئوریها و فرضیه های موجود وقدیمی خواهند شد وشاید در آینده بتوانیم دقیقتر و بهتر راجع باین موضوع صحبت کنیم ...»

II- اشکالهای کنونی درشناسائی زمین وراه حلی که برای قسمتی ازاین اشکالها عرضه شده‌است

خیلی ازآنچه راجع بداخل زمین گفته شد حتی امروزه هم مورد شک وتردید است . مثلا یکنفر از زمین شناسان بنام Ramsay عقیده دارد که‌درهیچیک ازاین بریدگیها تغییری درترکیب‌جسم‌حاصل‌نمیشود بلکه فشار وحرارت موجب تغییر ساختمان اتمی و ملکولی جسم شده و شبکه بلوری آنرا تغییر میدهد و این تغییرها گاهی سبب میشوند که وزن مخصوص جسم یکباره تغییر نموده و درنتیجه سرعت انتشار موجها نیز تغییر نماید . همینطور تردید واختلاف نظر نسبت بتوزیع سنگهای مختلف در پوسته زمین‌وجود داردومعلوم نیست که توده‌های گرانیت وبازالت بصورت مخلوط ودرهم ویا اینکه بصورت طبقه‌های مجزا ومرتبی روی یکدیگر قرار گرفته‌اند . بعقیده عده‌ای در پوسته زمین علاوه برگرانیت وبازالت طبقهٔ سومی هم وجود دارد .

مشکل دیگر صورت فیزیکی جسم درگوشته زمین‌است که معلوم نیست آیا جامد است‌یاپلاستیک وشیشه‌ای . تغییر درجه حرارت برحسب عمق ومنشاء آن واینکه آیا زمین بتدریج سردتر یا گرمتر میشودنیز جزء مسئله‌های مهم زمین شناسی است که هنوز جواب روشنی بدان داده نشده است .

این مشکل‌ها ومسئله‌های دیگری که وجود دارد وبآنها اشاره‌ای نشده درسال ۱۹۵۸ موجب‌شده که فکرجدید وعجیبی‌بمغززمین شناسان‌راه یابد وآن اینکه سعی‌شود گمانه‌ای‌را آنقدر ادامه دهند تا ازپوسته زمین عبورکند و بگوشته برسد وبا نمونه گیری‌پیوسته مقطع کاملی از پوسته‌زمین ونمونه‌هائی ازگوشته‌بدست آورند . چون هدف این طرح رسیدن ببریدگی Moho بود لذا اسم این طرح را Mohole (اختصار برای Mohorovicic Hole) گذاشتند . این طرح بعلت توانائی مالی امریکائیها درامریکا طرح‌ریزی شد ومقدمه کارهم در آنجا فراهم گردید ولی تعیین محل قطعی اجرای این طرح چه درخشکی وچه در دریا بررسیهای زیادی را ایجاب مینمود وبالاخره با وجود مشکل‌های فنی و مالی چنین طرح عظیمی مقدمه کار تا حدودی فراهم گردیده است . درمورد مسئله تعیین محل گمانه‌زنی باید گفت که حفاری درخشکی این اشکال‌را دربر دارد که ضخامت پوسته درآنجا عموماً زیادتر است ودرخشکیهای هم سطح دریا نیز که ضخامت کمتر است باید لااقل سی کیلومتر گمانه‌زنی کرد وحال اینکه تاکنون عمیقترین چاه گمانه‌ای که امریکائیها درخشکی زده‌اند عمقی بیش از ۹ کیلومتر ندارد . حفاری در دریا گو اینکه ضخامت پوسته دراین قسمت عموماً کمتر است ولی‌چندان سهلتر ازکار در خشکی نیست زیرا برای‌اینکه ضخامت‌پوسته کم باشد باید حفاری‌رادرجائی شروع کرد که عمق آب زیاد باشد وهمین امر مشکل‌های زیادی درکار بوجود میآورد زیرا حفاریهای میان دریا برای اکتشاف نفت هم فقط درآبهائی انجام گرفته که بیش ازچند صد مترعمق ندارند .

با وجود تمام این اشکالها بالاخره حفاری در دریا برحفاری درخشکی ترجیح داده شد و محلهای مناسب متعددی نیزانتخاب گردیده که‌اکثرآنها دراقیانوس کبیرهستند . بمنظور رفع‌مشکلهای فنی‌پیش‌بینی

شده بود که عمل گمانه زنی بالا در سه مرحله انجام شود اول حفاری در آبهای عمیق با کمی پیشرفت در طبقه‌های رسوبی. دوم گمانه‌زنی در آبهای عمیق تا عمق‌هائی درحدود ۱۰ کیلومتر ومرحله سوم حفاری تا بریدگی Moho .

مرحله‌اول این پروژه درسال ۱۹۶۱ با استفاده ازکشتی CUSS-I با موفقیت پایان یافت‌ودرآبهای ساحلی Guadalupe (مغرب کالیفرنیای جنوبی) حفاری انجام شد وتوانستند جزیره شناور را با استفاده‌رادار با تقریب ۱۰۰ مترثابت نگهدارند.

مرحله‌های دوم وسوم بعلت مشکل مالی واختلاف نظر بین کارشناسان هنوز در دست بررسی است وتاریخ شروع مرحله‌های بعدی حتی تعیین هم نشده است امید است که با انجام این طرح وطرحهای‌مشابه آن تاحدودی اشکالاتی که درمورد شناسائی پوستهٔ زمین وجود دارد از بین برود و در آتیه نزدیکی بتوانیم لااقل راجع بساختمان پوستهٔ زمین «دقیقتر وبهتر» اظهارنظر کنیم.