

## الفصل الخامس

### طرق المغناطيسية القديمة (باليومجنيتيك)

### Paleomagnetic Methods

#### 1.5 مقدمة Introduction:

تهتم المغناطيسية القديمة (باليومجنيتيك paleomagnetic) بدراسة المتبقيات الطبيعية للمغناطيسية Natural Remanent Magnetization (NRM) للصخور لكي تقدم معلومات ملائمة حول المجال المغناطيسي الأرضي في الأزمنة الجيولوجية. ونتائج الدراسات الحديثة في هذا المجال من علم الجيوفيزياء أمدنا بمعرفة كبيرة حول تاريخ المجال المغناطيسي بما فيه انعكاس أقطابه. وقد قدمت تطبيقات المغناطيسية القديمة (باليومجنيتيك) دلائل كمية عن نظريات هامة مثل إزاحة القارات (continental drift) تباعد قاع المحيطات (sea-floor spreading) وحركة الألواح (plate tectonics). وحديثا استخدمت المغناطيسية القديمة (باليومجنيتيك) بكثرة كأداة لدراسة تركيب ومقارنة للمشاكل الجيولوجية المحلية.

#### 2.5 المغناطيسية المتبقية في المعادن والصخور: Remanent Magnetization in Minerals and Rocks

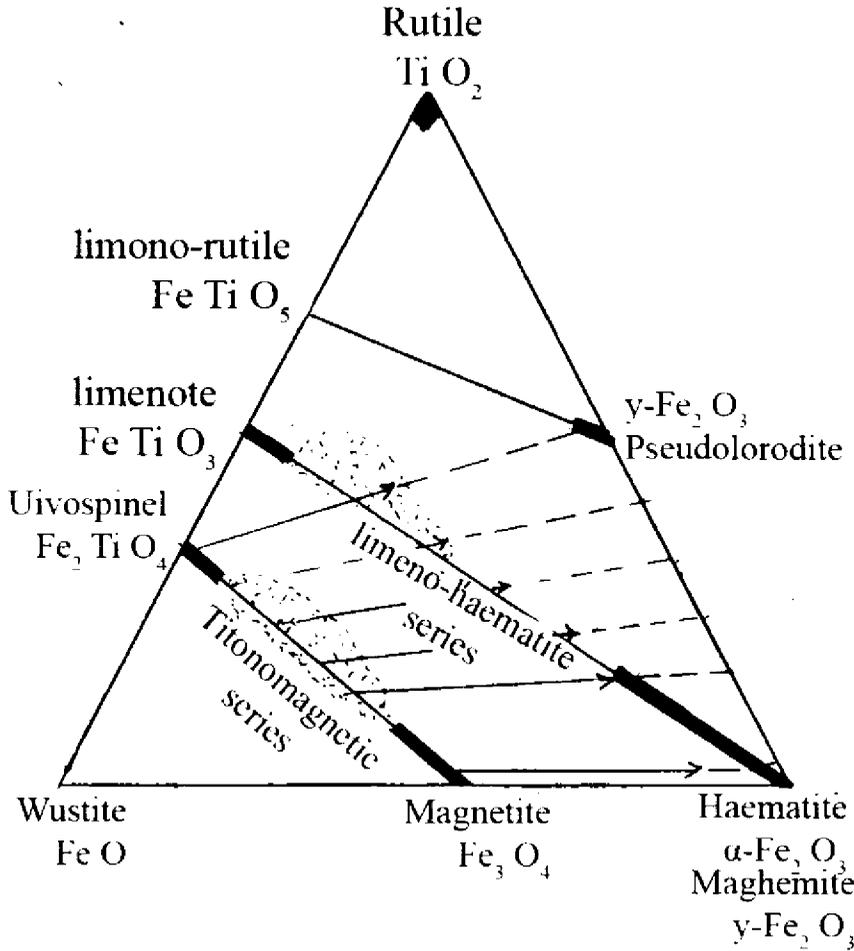
من بين الخواص الهامة للفيرومجنيتيك ferromagnetic في دراسات المغناطيسية القديمة (باليومجنيتيك) هي المغناطيسية المتبقية (remanent magnetization)  $H_c$  (coercivity). والجبرية  $H_c$  (coercivity).

#### 1.2.5 مغناطيسية المعادن Magnetic Mineralogy:

عمليا، جميع المكونات التي تعطي مغناطيسية عالية للصخور تكون معادن حديدية أو محتوية على إضافات معادن حديدية هذه المعادن تنقسم إلى مجموعتين في الكيمياء الأرضية (جيوكيمياء Geochemical).

#### 1.1.2.5 مجموعة حديد Iron - تيتانيوم Tetanium - أوكسجين Oxygen:

من الأفضل، تمثيل خواص هذه المجموعة الكيميائية والمغناطيسية في نظام ثلاثي (FeO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>) كما في شكل (1-5).



شكل (1-5): شكل هندسي ثلاثي لتركيبات أكاسيد حديد تيتانوم شائعة يوضح سلسلة محلول صلب (الخطوط الثقيلة). وتوضح اتجاه زيادة الأكسدة مع نسبة ثبات  $Fe/Ti$

في هذا الشكل الخط المستقيم الواصل بين  $Fe_2O_3$  و  $FeTiO_3$  والخط المستقيم الواصل بين  $Fe_3O_4$  و  $Fe_2TiO_4$  يمثلان أهم سلسلة صلبة محلول مشاركة غالبية للمعادن المغناطيسية في الصخور. هذه المجموعة، مسيياً، تدل كمجموعة  $\alpha$ ,  $\beta$ .

أعضاء مجموعة  $\alpha$  تتراوح في التركيب من هيمايتيت ( $\alpha-Fe_2O_3$ ) إلى المنيت ( $FeTiO_3$ ) وتركيبها رومبوهدرال Rhombohedral. يكون تمغنط الهيمايتيت عكسفير ومجنيتيك Antiferromagnetic مع تلاحم احتوائى من الفير ومجنيتيك ferromagnetic بينما يتميز الإلمنيت بأنه عكسفير ومجنيتيك. تكون المغناطيسية الذاتية (J) spontaneous magnetization للهيمايتيت والألمنيت تكون ضعيفة جداً بالمقارنة بالمجنيتيت. ويمكن التعبير عن التركيب الكيميائي لسلسلة صلب محلول كـ  $(X)FeTiO_3$ ,  $(1-X)Fe_2O_3$ . وتتغير درجة كورى (نيل Neel) غالباً خطياً مع زيادة X من  $675^\circ$  درجة مئوية لـ  $\alpha-Fe_2O_3$  إلى  $215^\circ$  درجة مئوية لـ  $FeTiO_3$ . وتكون الخواص المغناطيسية لمحلل صلب معقد وحساس للمعالجة الحرارية، والتي تسبب انعكاس ذاتى للمغناطيسية شكل (10-5).

أهم نقطة حول الهيمايتيت هي التي لها قوة قهرية i coercive force كبيرة ( $H_C > 10^5 A/m$ ). لهذا السبب، برغم ضعفه المغناطيسي، يعتبر هام في الباليومجنيتيك.

أعضاء سلسلة  $\beta$  تتراوح في التركيب من ماجنتيت magnetite  $Fe_3O_4$  إلى يلفوسبيند ( $Fe_2TiO_4$ ) Ulvospind كلاهما يتكون من تركيب مغزلي عكسي ويشكل صلب-سائل تماما عند درجات الحرارة العالية (لها درجة حرارة كورى تبلغ  $580^\circ$  درجة). وتكون القوة القهرية،  $H_c$ ، للحبيبات الكبيرة للماجنتيت منخفضة ( $\sim 10^3 A/m$ ) يكون لها استقرار مغناطيسى فى جزيئات الحجم الدقيقة، لذلك يعتبر الماجنتيت أهم حامل للاستبقائية المستقرة. تقل درجة حرارة كورى  $T_c$  والمغناطيسية الذاتية خطيا كلما يتحرك التركيب من مذيب نقى إلى يلفوسبيند. ويمكن حدوث إحلال للكميات المعتبرة لأيونات التكافؤ المزدوج أو التكافؤ الثلاثى فى التركيب المغزلي. توجد سلسلة لها تصور شبه مستقر من أكسيد حديد-تيتانوم بتركيب مغزلي ما بين سلاسل  $\alpha$ ،  $\beta$ . ونهاية عضو هذه السلسلة هو ماجهيميت ( $\gamma-Fe_2O_3$  Maghemite). يكون الماجهيميت النقى غير مستقر عند درجة حرارة فوق  $300^\circ$  بينما يتحول فى إتجاه واحد لليهماتيت، وربما تساعد بعض الشوائب لاستقرار تركيبه، ويوجد الماجهيميت فى كثير من أنواع الصخور المختلفة. يتكون الماجهيميت عادة فى الحمم المتدفقة عند درجات حرارة منخفضة  $200^\circ-300^\circ$  خلال عملية التبريد وذلك عندما تتفاعل السوائل المتبقية مع الماجنتيت، والذي يتأكسد لبعض امتداده بعد تكوينه عند درجات الحرارة العالية. أيضا يمكن أن يتكون فى بيئات رسوبية بواسطة تأكسد درجات الحرارة المنخفضة لأجزاء صغيرة من الماجنتيت فى وجود رطوبة. ظاهرا، يمكن أن يوجد غالبا تركيبات متوسطة والتي تسمى تيتانوماجهيميت (titanomaghemites).

### مجموعة (حديد-كبريت) The Iron-Sulfur Group:

أكثر المعادن أهمية فى هذه المجموعة معدن بيرهوتيت (pyrrhotite) ( $FeS_{1+x}$ ,  $0.15 < X < 0$ ) وهو معدن فيرمجنتيك والذي يوجد أساسا فى الصخور الطبيعية. التركيب القياسى للفيرمجنيتك بيرهوتيت هو  $Fe_7S_8$  وله نقطة كورى حوالى  $320^\circ$ ، أيضا تكون الخواص المغناطيسية معقدة وسريعة التأثير للتركيب والمعالجة الحرارية، عندما تكون  $X > 0.1$  يكون المعدن عكسفير ومجنيتك، وعندما تكون  $X = 1$  يكون المعدن بيريت Pyrite، والذي يكون تركيبه مكعبى وبارامجنيتك.

مجموعة المعادن التى تشير إلى أكسيدات هيدروس حديد (hydrous iron oxides) عادة تسمى ليمونيت (limonites) وتوجد عادة فى الصخور المتحولة. الجيوتيت (Geothite) ( $\alpha-FeOOH$ ) هو أوكسيهيدروكسيد (oxyhydroxide) تبعا لليهماتيت بينما ليبيدوكروسيت (lepidocrocite) ( $\gamma-FeOOH$ ) يكون أوكسيهيدروكسيد تبعا للماجهيميت. هذه المعادن غير مستقرة حراريا ولذلك لها أهمية محدودة منفردة. يحدث الجيوتيت عامة فى أجسام خامات الحديد، ومشارك مع هيماتيت ومجنيتيت فى الصخور المتجوية. عندما يسخن فوق  $120^\circ$  ويبرد فى المجال المحيط، فإنه يكتسب متبقيات مستقرة بخواص مشابهة لمثل خواص الهيماتيت.

### 2.2.5 إكتساب أنواع مختلفة من المتبقيات الطبيعية للمغناطيسية بواسطة الصخور

#### Acquisition of Various Types of Natural Remanent and Magnetization (NRM) by Rocks:

تم عمل تقدم مهم خلال عشرات السنين الماضية فى تفسير العمليات المختلفة بواسطة المتبقيات الطبيعية للمغناطيسية (NRM) المكتسبة بواسطة الصخور وأغلب أهمية التفسير الجيوفيزيائى يكون كالاتى:

### 1.2.2.5 متبقيات مغناطيسية الأيزوثرمال متساوى الحرارة

#### Isothermal Remanent Magnetization (IRM):

متبقيات مغناطيسية الأيزوثرمال هي متبقيات مكتسبة بواسطة صخور عند درجات حرارة ثابتة. وعندما يطبق مجال خارجي لفترة زمنية قصيرة ويزال بعد ذلك كالتي تعطى أثناء ظهور حلقة التخلف المغناطيسي (شكل 4-5)، فإن هذه الخاصية تهمل إهمالا شديدا في المجالات المغناطيسية الضعيفة مثل المجال الأرضي. لذا تكون (IRM) هامة فقط في منكشف الصخور التي تظهر محليا، وشدة المجالات التي تنتج من خبطات خفيفة. حيث أن التأثير المغناطيسي الناتج بواسطة الخبطات الخفيفة يكون محلي جدا، ونتيجة لعدم انتظامية في شدة (IRM) الكبيرة لذلك من السهل إهماله.

### 2.2.2.5 متبقيات مغناطيسية لزجة (VRM) :Viscous Remanent Magnetization

هذه المتبقيات تنتج من تجمع مغناطيسية ثانوية مكتسبة بواسطة صخور تعرضت طويلا لمجال محيط مشابه للمجال الأرضي. لذلك، عامة تكون زيادة (VRM) لوغارتمية مع الزمن وتزداد صلابة (VRM) عبر مرورها بالأزمنة الجيولوجية. اعتباريا، تكون علاقة مغناطيسية "الزوجة" الصخور، VRM المكتسبة عكسية مع اجبارية عدد الحبيبات المغناطيسية الموجودة. وقد أوضحت التجارب العملية أن VRM المكتسبة بواسطة الصخور النارية والرسوبية خلال 4-6 أسابيع تعتبر سلسلة في المجال الأرضي. جميع الصخور، التالية لتكوينها، والتي تعرضت للمجال المغناطيسي الأرضي لامتداد زمني كبير، عادة ما تملك بعض (VRM) بالإضافة لـ NRM الأولى المكتسبة منذ زمن تكوينها.

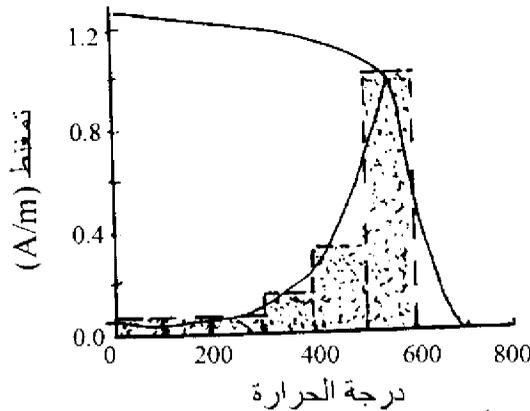
### 3.2.2.5 متبقيات مغناطيسية الحرارة (TRM) :Thermoremanent Magnetization

تكتسب TRM بواسطة الصخور أثناء برودتها من درجة حرارة كوري (Curie) إلى درجة حرارة الجو العادية في وجود مجال مغناطيسي. نسبيا، هذا أهم تفسير ميكانيكي لقوة واستقرار NRM لكثير من الصخور النارية. عادية تكتسب أغلب TRM في فترات حرارة ما بين 100°-150° أسفل نقطة كوري ( $T_C$ ). عندما تكون درجات الصخور قريبة من نقطة كوري فإن المغناطيسية المكتسبة تتناسب مع المجال المحيط،  $H_p$ ، وبالمثل فإن المغناطيسية الحثية  $i$  Induction magnetization تختفي إذا أزيل المجال المحيط. ربما، عندما تبرد الصخور أسفل  $T_C$  في وجود المجال المحيط فإن مغناطيسيتها تصبح مستقرة عند درجات الحصر (blocking temperatures  $T_B$ ) الواضحة، والتي تعتمد على تكوين وحجم الحبيبات المغناطيسية الموجودة. بعد ذلك بزيادة التبريد فإن المغناطيسية تستقر ولا يؤثر فيها أي تغير تابع في المجال المغناطيسي المحيط، أي تتجمد  $i$  frozen in المغناطيسية بواسطة التبريد من درجات الحرارة العالية. وكقاعدة عامة، فإن ارتفاع  $T_B$  (الحرارة الحصرية) تكون الإستقرار الأكبر لـ TRM. في أغلب الصخور توازي TRM المجال المحيط ( $H_p$ ) وبالنسبة للمجالات منخفضة الشدة فإنها تتناسب مع  $H_p$ .

TRM لها خاصية هامة هي أن TRM الكلية تنتج بواسطة تبريد (شكل 5-2) من  $T_C$  إلى درجة حرارة الحجرة  $T_0$  نتيجة لمجموع جميع أجزاء تمغنط حراري جزئي partial thermoremanent magnetization

(PTRM) المكتسب في فترات  $T_2-T_1$ ،  $T_0-T_1$ ، عكسياً، بإعادة التسخين لدرجة حرارة  $T_c > T_1$  ثم يتبع تبريد في مجال صفر، ينهدم نقط جزء من TRM الأصلي والتي اكتسب تحت درجة حرارة  $T_1$ . توجد هذه الخاصية المميزة لـ PTRM عند التطبيق في خرف جاف وكثير من (وليست الكل) الحمم. يمكن استخدام الشدة القديمة في المجالات الملائمة للمجال الأرضي والذي ينتج أصل NRM.

في المجالات الضعيفة فإن TRM أكثر شدة واستقرار من IRM، VRM المكتسبة في نفس المجال. يسمح هذا الاستقرار لـ TRM بفصل التمتع الثاني (التالي) (مثل VRM) المكتسب مؤخرًا في حالات كثيرة (وليست الكل) من أصل TRM. يتناسب استقرار TRM تقريبًا مع الإضطراب وعادة تقل مع زيادة حجم الحبيبات.



شكل (2-5): اكتساب تمغنت حراري جزئي (PTRM) في فترات درجات حرارة مختلفة بمجموع (PTRM) المفرد يعطى منحني (TRM).

#### 4.2.2.5 متبقيات مغناطيسية الترسيب أو الفتات

##### Depositional or Detrital Remanent Magnetization (DRM):

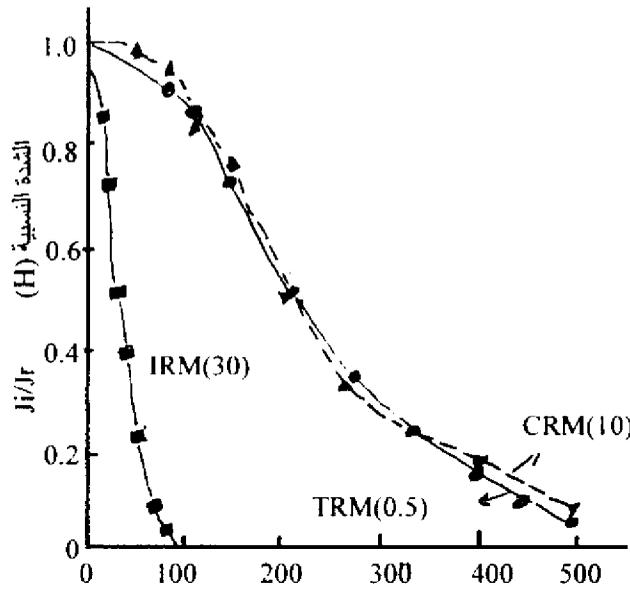
ربما تصبح حبيبات المعادن المغناطيسية التي تحمل المتبقيات مثل (TRM) المكتسبة أولاً (مبكراً) موجه بواسطة المجال الأرضي عندما تستقر في ماء هادئ (مستقر) وتصبح مضمورة في الرسوبيات تعطي بعد ذلك رسوبيات متماسكة لترسيب أو فتات متبقيات المغناطيسية، من أحسن الأمثلة لذلك الطين الموسمي. أوضحت الدراسات المعدنية أن الماجنتيت magnetite في حجم جزيئات فقط لقليل من الميكروونات أهم المواد المغناطيسية في الموسميات.

برغم أن DRM تسود عامة بواسطة حبيبات مجنتيت دقيقة، فبعض الدراسات أوضحت أن مغناطيسية الرسوبيات في بعض الحالات ترجع إلى حبيبات الهيماتيت السوداء. وفي حالات كثيرة فإن مغناطيسية الرسوبيات لا تكون مفتتة ولكن ذات أصل كيميائي ناتجة أثناء التحولات الكيميائية في عمليات التماسك. لذلك فإن دراسة DRM محصورة للرسوبيات الحديثة والتي لم تعاني أي تحول كيميائي.

### 5.2.2.5 متبقيات المغناطيسية البلورية أو الكيميائية

#### Crystallization or Chemical Remanent Magnetization (CRM):

تكتسب (CRM) أثناء التكون النووي والنمو أو إعادة تبلور لحبيبات مغناطيسية دقيقة بواسطة تفاعلات كيميائية معينة (عند درجات حرارة بعيدة أسفل نقطتها الكورية) في أي مجال محيط. وتظهر ميكانيكية هذه العمليات أن (CRM) تشبه كثيرا العمليات التي تنتج TRM من جزيئات فردية سائدة. ويوضح شكل (3-5) استقرار CRM بالنسبة لدرجة حرارة إزالة المغناطيسية أو إلى مجال إزالة مغناطيسية متردد مشابه جدا لمثل TRM، وذلك برغم أن الشدة لا تكون كبيرة. يبدو أن معظم الصخور الرسوبية والمتحولة تملك في الطبيعة CRM. ربما تكون بعض المغناطيسية المتبقية للصخور الرسوبية الحمراء قبل الترسيب CRM والمكتسبة بواسطة نزع الماء وإعادة التبلور من الجوثيت للهيماتيت أو من لبيدوكروسييت Lopidocrocite إلى الجوثيت. حتى في الصخور النارية فإن معادن أكسيدات الحديد ربما تتعرض للإنتقال من شكل لآخر أثناء خروج المحاليل ببطء أو عمليات درجات الأكسدة البطيئة وعندئذ تكتسب CRM. والعمليّة يمكن أن تنتج العمليّة العكسية (الإختزال) مغناطيسية كيميائية متبقية مستقرة مثل تحول الهيماتيت إلى مجنيتيت شكل (3-5).



شكل (3-5): منحنيات مجال إزالة مغناطيسية متردد لأنواع مختلفة من متبقيات متغط في عينات مجنيتيت اكتشفت

### 6.2.2.5 متبقيات المغناطيسية الإجهادية (PRM) Prezoremanent Magnetization

(PRM) مغناطيسية متبقية إضافية تكتسب بواسطة تطبيق وإطلاق ميكانيكية الإجهاد في المجال المحيط عند درجة حرارة ثابتة. ربما تقل هذه المغناطيسية أيضا قبل وجود المتبقيات بواسطة ضغط أحادي المحور في اتجاه المغناطيسية في نفس طريق القابلية المغناطيسية. تكتسب حديثا دراسة PRM وعلاقة الظاهرة الطبيعية المغناطيسية الدقيقة (مجنيتوستركشن Magnetostriktion)) تعريفًا خاصًا، حيث يصاحب تأثير الإجهاد الحرج للصخور قبل حدوث الزلزال بعدة دقائق، ولكن قياسيا، فإن شادات السيزمومجنيتيك (seismomagnetic) ذات جامات قليلة، ربما تعطى هذه التأثيرات دلالة على قرب حدوث زلزال. وحديثا، وضعت مغنوطومترات حساسة جدا على طول فالق سان أندريز San Andreas لإختيار تأثير السيزمومجنيتيك على حركة مستوى الفالق.

### 3.5 تكنولوجيا المغناطيسية القديمة :Techniques of Paleomagnetism

حقيقة القواعد الأساسية للمغناطيسية القديمة هي إستقرار NRM لوحدة صخرية غير مضطربة تكتونيا وتعطى تسجيل حقيقي للمجال المغناطيسي الأرضي ( $F_{anc}$ ) القديم السائد عند زمن تكوين الصخر. ويعبر عن الفروض الأساسية بأن  $F_{anc} \propto J_r$  و  $F_{anc} // J_r$  ولبعض تطبيقات التعاريف على مقياس عالمي، إتخذ افتراض إضافي بأن  $F_{anc}$  تتوافق مع محور ثنائي قطبي مركز الأرض. يعدل الإستخدام الأخير لمحور ثنائي قطبي المغناطيسية الأرضية تبعاً للمحور الجغرافي الأرضي.

#### 1.3.5 عينات المغناطيسية القديمة وقياسها: Paleomagnetic Sampling and Measurements

معظم الصخور المستخدمة لدراسة المغناطيسية القديمة تكون إما لصخور نارية أو صخور رسوبية. يكون المتطلب الأول جمع مجموعة من العينات، محددة الإتجاهات في الفراغ، من وحدات الصخور المراد دراستها. ربما تؤثر NRM لصخور المكاشف، خاصة في مساحات مخارج الصخور القاعدية (أو تداخلها) على قراءة البوصلة المغناطيسية، ولذلك تستخدم البوصلة الشمسية بدلا منها. من الواضح أن تكوينات الصخور تتجه للتحطم، كما في الطبقات المائلة، لذلك يستدل على المستوى الأفقي الأصلي بواسطة التطابق أما بالنسبة للتتابع الطبقي (مثل الطبقات الرسوبية، إنسياب الحجم). فعادة تؤخذ العينات من قطاع رأسي اعتباري تبعاً لبضعة آلاف من السنين الزمنية. لذلك عند قياس NRM للعينات تكون متوسطة، ويكون تأثير التغير الزهري في  $F_{anc}$  صغير جدا.

من كل عينة جمعت، يقطع عدد من العينات في صورة مكعبات أو تؤخذ محفورة في صورة إسطوانات. ولقياس NRM للعينات فإن ثلاثة أنواع من الأجهزة (ملائمة كوحدات تجارية) سائدة الإستخدام، المجنيتومتر الإستاتيكي المجنيتومتر المغزلي، ومجنيتومتر فائق التوصيل.

#### 1.1.3.5 المجنيتومتر الإستاتيكي Static Magnetometer

من أوائل الأجهزة التي استخدمت في قياس NRM. يتكون من زوج مغناطيسي صغير متساوي ومتضاد العزم معلق على خيط التوائي. إذا وضعت العينة من المغناطيس السفلي فإن نظام المغناطيس ينحرف إستجابة للمجال الأفقي المنتج بواسطة العينة أسفل المغناطيس. ويكون إنحراف المجموعة علاقة للمسافة، الإتجاه، وشدة مغناطيسية العينة. تجرى القياسات بوضع العينة في إتجاهات مختلفة وعادة تأخذ من 10-20 دقيقة لتحديد إتجاه المغناطيسية المتبقية. لقياسات جيدة ( $10^{-10} \text{ NRM} \leq A/M$ )، وغالبا ما تصبح مشكلة بيئة الشوشرة حرجة للقياس، لذلك يكون مبنى المعمل بعيدا عن أي تأثير ميكانيكي أو مروري شكل (4-5 أ).

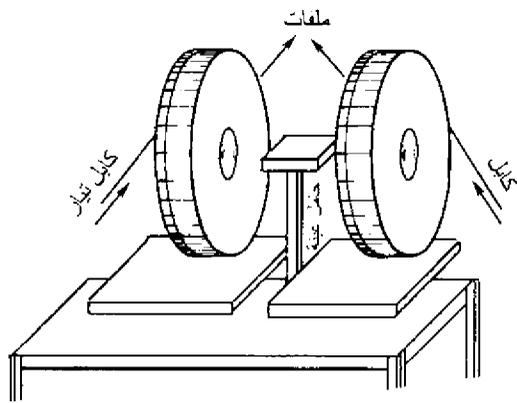
#### 2.1.3.5 المجنيتوميتر المغزلي Simple Magnetometer

من أهم الأجهزة الملائمة لقياس NRM لعينات الصخور سريعا. تدور العينة النموذجية (عادة إسطوانية 2.2 cm x 2.5 cm) بالقرب من مركز ملف شاحن صغير لذلك ينتج جهد عند تردد الدوران. وتتناسب سعة الإشارة الناتجة مع مركبة المغناطيسية المتبقية والتي تتعتمد على محور الدوران. ولتحديد إتجاه المغناطيسية

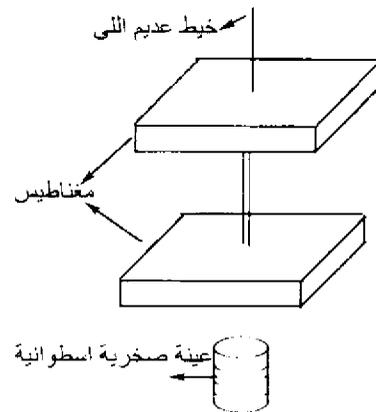
عادة تدار العينة حول الثلاثة محاور العمودية لها. وتستخدم واحدة من الوحدات التجارية حلقة فتحة تدفق نظام شاحن صغير وتكون متصلة بكمبيوتر صغير والذي يعدل خروج الإشارة من عدد كبير من اللف (الدوار). يمكن استخدام القياسات على المجنيتومترات المغزلية للعمل خلال 15 دقيقة لشدة متبقيات أقل من  $A/M/O^{-4}$  لعينة ذات حجم نموذجي شكل (4-5 ب).

### 3.1.3.5 مجنيتوميتر فانق التوصيل: Superconducting Magnetometer (SQUID Magnetometer)

يستخدم لقياس NRM لصخور مغناطيسيتها ضعيفة (غالبا رسوبية) حيث أنه أسرع وأكثر حساسية من النوعين السابقين. في هذا الجهاز، تدخل العينة الصخرية إلى ملف محفوظ عند درجة حرارة (سائل الهليوم). وتنتج هذه العملية تيار دائم في الملف، وتعتمد قيمته على مركبة المغناطيسية على طول محور الملف. ولا يعتمد انسياب التيار على المعدل عند دخول العينة التي تقاس بواسطة جهاز حس (SQUID). ويمكن قياس الثلاث



شكل (4-5 ب) مغناطومتر مغزلي

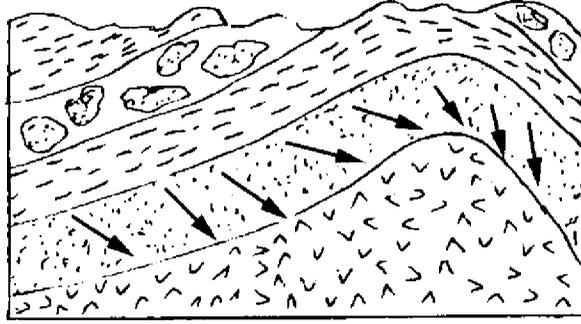


شكل (4-5 أ) مغناطومتر استاتيكي

مركبات للمغناطيسية القديمة ( $J_{rz}$ ,  $J_{ry}$ ,  $J_{rx}$ ) لحظيا في نفس الوقت بواسطة ثلاثة أجهزة حس (SQUID) متبادلة عموديا نهائيا. تحاط ثلاثة دروع فانقة التوصيل بأجهزة حس (SQUID) لنقل المجال الخارجى إلى نانوتسلا nT قليلة. وقد أحدثت الحساسية العالية ( $\sim 10^{-5} A/M$ ) وسرعة الزمن المطلوب لمجنيتوميتر SQUID ثورة في قياس المغناطيسية المتبقية الضعيفة.

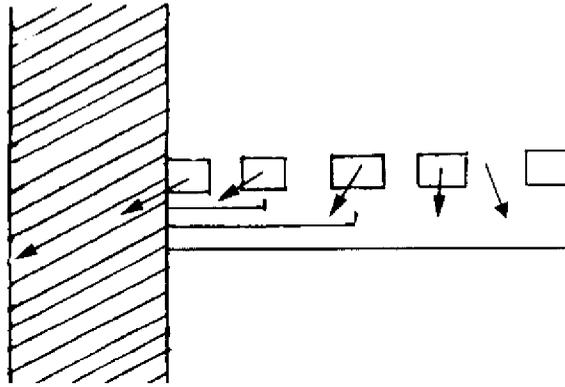
### 2.3.5 إختبارات حقلية الإستقرار Field Tests of Stability:

طبقت عدة إختبارات جيولوجية لتحديد إستقرار NRM، وأهم هذه التطبيقات هي إختبار الطي *iFold test* والتماس التحميص *i baked contact* ويوضح شكل (5-5) أساس إختبار الطي. إذا كانت اتجاهات NRM في طبقة الطين، أخذت عينات من أماكن مختلفة، تختلف عن بعضها، ولكن توافقت بعد تطبيق تصحيح الميل. فإن NRM تؤرخ بتاريخ سابق التوزيع التكتوني وتبقى مستقرة منذ ذلك الزمن.



شكل (5-5): اختبار طي (جراهام 1949) إذا أصبحت اتجاهات التمغنط القديم (الأسهم) متساوية بعد تطبيق تصحيحات الميل ، فإن التمغنط القديم يكون قبل التوزيع التكتوني

يتم اختبار التماس اليابس على إستخدام حقيقة أنه أثناء تداخل صهير الصخور النارية في الصخور المضيفة فإن الأخيرة تسخن وعند التبريد تكتسب NRM (افتراض TRM) في نفس المجال المغناطيسي الذي فيه تصبح الصخور المتداخلة ممغنطة مع التبريد (شكل 5-6) وحيث أن الصخور النارية أو المحمصنة والصخور القارية المحمصنة تكون عامة مختلفة المعادن، فإنها تتفق فيما بين اتجاهات NRM لها، ولاتتفق مع اتجاهات NRM للصخور غير المحمصنة مؤدية دلالة جيدة لاستقرار المغناطيسية لكلا من صخور التداخل والصخور المحمصنة منذ زمن التبريد. ربما لا يتم اكتشاف أى تداخل أو إعادة تمغنط أقليمي بسبب تسخين عام، وأن عميق أو نشاط صخور نارية متسع بواسطة هذا الإختبار.



شكل (5-6): شكل تخطيطي يوضح نطاقات من التمغنط بعد برودة الصخور النارية والصخور المجاورة المحمصنة (ولسون R.L. Wilson 1966)

### 3.3.5 طرق المعقطة والإزالة الحرارية: Magnetic and Thermal Cleaning Methods

قبل تفسير قياس NRM للصخور في أزمنة اتجاه الميل القديم، يجب بعناية إزالة متبقيات المغناطيسية للزجة (VRM) أو تمغنط ثانوى آخر واللذان يتبادلان التركيب على المتبقيات الأولى. هذا التمغنط الثانوى عادة (وليس دائما) يكون رخوا (أو هشاً) بالمقارنة لـ TRM أو CRM الأولى وفي الحالات الملائمة يمكن هدم المركبات الرخوة بواسطة إزالة التمغنط جزئيا، بينما يبقى قياس جزئى للمركبة الصلدة. عامة، تستخدم طريقتين في معامل المغناطيسية القديمة.

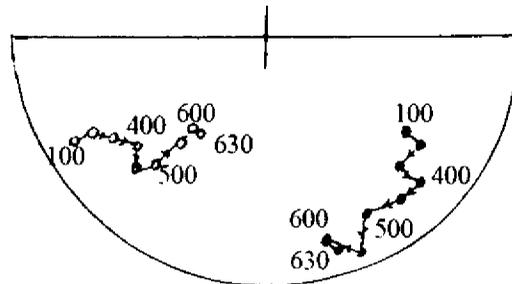
### 1.3.3.5 طريقة إزالة المغناطيسية في مجال متردد

#### In the Alternating Field (a.f.) Demagnetization Method:

تعرض العينة الصخرية إلى مجال متردد والذي يقل ببطء متساوي إلى الصفر من شدة قمة مختارة تعتمد على قوة قهرية ( $H_c$ ) لمركبات هدمت. أساسا، يزال المجال الأرضي عبر العينة، وحيث أن المجال المتردد له شكل موجة خاصة فربما تكتسب العينة عكسيا متبقيات مغناطيسية للتخلف المغناطيسي (ARM) anhyseretic remanent magnetization أو تختفي متبقيات NRM. وعادة تقلب العينة عند مركز ملف إنتاج المجال المتردد لذلك تنتظم جميع الإتجاهات خلال العينة بنجاح مع المجال على طول المحور. ويشير نظام مجال إزالة المغناطيسية المتردد إلى زيادة الشوشرة عند بعض مجالات فوق 50 nT ( $= 500 \text{ Oc.}$ ) بسبب تأثير إنتاجه بواسطة ARM ومصادر أخرى للاضطراب، ويعمل لبعض الصخور مجال دقيق عالي يصل إلى 150 mT  $\bar{n}$  100 mT. لذلك تكون الطريقة غير ملائمة لتكملة تحديد الغرض القهري للعينات والتي فيها تحمل المتبقية بواسطة حبيبات الهيماتيت لقهر عالي. وعامة تطبق هذه الطريقة، غالبا لعينات حاملة مغناطيسية من الصخور النارية.

### 2.3.3.5 طريقة التسخين والتبريد بدرجة نمطية: Stepwise Heating and Cooling Method:

بهذه الطريقة يمكن إزالة مغناطيسية العينة الصخرية حراريا في مجال فراغ حر. يؤدي تسخين العينة إلى أن مغناطيسية الحبيبات تصبح عشوائية الإتجاه، معتمدة على درجة حرارة حصر مركبات المغناطيسية ولذلك يمكن تحديد طيف درجة حرارة الحصر للعينة بواسطة سلوك درجة حرارتها المغناطيسية، ويعزل استقرار مركبة NRM (التي ربما تكون TRM أو CRM) بواسطة تدمير المركبات الثانوية لثبات الإنخفاض النسبي الحراري. يوجد خطر في التحول الكيميائي أثناء إعادة التسخين، وهذا يعتبر عدم ميزة لتلك الطريقة. لذلك يجب قياس مجال القابلية المغناطيسية المنخفض قبل كل إعادة تسخين لضبط الثبات الكيميائي للمعادن المغناطيسية، حيث أن أي تغير في القابلية المغناطيسية سوف يدل على التحول الكيميائي للمعادن. تقنية الإزالة الحرارية أكثر تطبيقا للصخور الحاملة للهيماتيت، والتي لها تمغنطات ثانوية والتي يكون من الصعب إزالتها بواسطة إزالة المجال المتردد (a.f.). ويوضح شكل (7-5) مثال للتغير في إتجاه متجهات NRM في عينتين للحجر الرملي الحامل للهيماتيت. وهما يقاومان بشدة لإزالة المجال المتردد (a.f.) في مجالات فوق 150 mT ( $= 1500 \text{ oe}$ ) في بعض الحالات، ربما يكون الغسل الحامضي للصخور أكثر نجاحا من المجال المتردد أو الإزالة الحرارية لعزل المتبقيات الأولية. ربما يكون للصخور التي تتعرض لحرارة معقدة وتواريخ كيميائية سلوك لانظامي خلال عملية الإزالة حيث لايمكن فصل المتبقيات الأولية خلال تحليل متبقيات مركباتها المغناطيسية.



شكل (7-5): تغيرات في إتجاه NRM لعينتين حجر رملي نيكسو Nexo مع تقدم إزالة تمغنط حراري يشاهد على شبكة قطبية متساوية المساحة. ويلاحظ أن الإتجاهات تصبح مستقرة بعد معالجة حرارية عند  $600^\circ$  (براسادوشارما Prasad and Sharma 1978).

.and Sharma 1978

## 3.3.3.5 Mean Directions, Poles, and Paleolatitudes: النطاقات القديمة، الأقطاب، الإتجاهات الأساسية،

عادة إزالة إتجاهات NRM لمجموعات عينات من عدة تجمعات مواقع، توضح إنتشارها، ويمكن تحديد متوسطهم بواسطة تجمع متجهي. يعين إتجاه لمتجه المتبقية عينة صخر بواسطة الإنحراف  $D_r$  (تقاس في إتجاه الساعة من الشمال الجغرافي) والميل  $I_r$  (يقاس موجبا لأسفل من الأفقى). ويمكن تحديد الناتج (متوسط) لـ  $N$  كتجاهات بواسطة جمع اتجاهات جيوب تمام الزوايا  $(l, m, n)$  لمتجهات فردية لكل وحدة وزن. يعين الطول  $R$  واتجاه محصلة المتجه بواسطة إنحرافه  $D_r$ ، وميل  $I_r$  ويمكن الحصول عليه كالآتي:

$$l = \cos D_r \cos I_r \quad \& \quad m = \sin D_r \cos I_r \quad \& \quad n = \sin I_r \quad (5-1)$$

$$R^2 = (\sum l)^2 + (\sum m)^2 + (\sum n)^2 \quad (5-2)$$

$$\tan D_R = (\sum m) / (\sum l) \quad \& \quad \sin I_R = (\sum n / R) \quad (5-3)$$

حيث  $\Sigma$  تشير إلى جمع عبر متجهات فردية  $N$ .

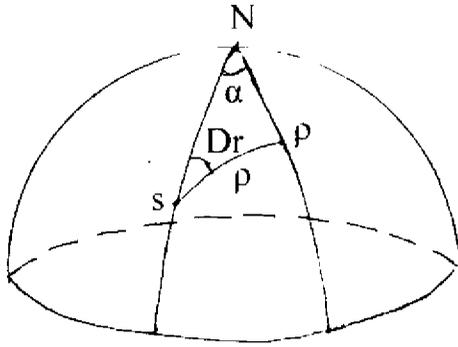
ومعاملى الدقة الأكثر شيوعا للاستخدام هما  $K$ ،  $\alpha_{95}$ ، ويقاس المعامل  $K$  من الإنتشار العام لمتجهه  $N$ ، وقد أوضح فيشر 1953 Fisher أن أحسن تقدير لـ  $K$  هو

$$K = (N-1) / (N-R) \quad (5-4)$$

$K$  تتراوح تقريبا من 1 لتوزيع عشوائى كامل للاتجاهات إلى مالانهاية لاتجاهات متطابقة، أيضا وضح فيشر Fisher أنه عند مستوى احتمال  $(1-P)$  فإن متوسط الإتجاه الحقيقى لشيوعه اتجاهات  $N$  تقع خلال دائرة مخروطية والذي يكون محورها هو متوسط الإتجاه الملاحظ وزاويتها النصف رأسية تعطى كالآتي:

$$\cos \alpha_{(1-P)} = 1 - \frac{N-A}{R} \left[ \left( \frac{1}{P} \right)^{1/(N-1)} - 1 \right] \quad (5-5)$$

فى معظم دراسات المغناطيسية القديمة فإن  $P$  تكون 0.05، لذلك يوجد 95% شيوعا، لمتوسط إتجاه حقيقى يقع خلال  $\alpha_{95}$  درجة لمتوسط الإتجاه الملاحظ. عندئذ يمكن استخدام الإتجاه لـ NRM من مجموعة متماسكة (غير متناقضة) للاستدلال على مكان القطب المكافى، على الغرض لمحور مجال ثنائى القضب. وهنا تشتق الصيغ الهامة لهذا التحول. وتشمل المشكلة الأساسية حل للمثلث الكروى NPS (شكل 5-8). الكميات المعروفة هى إتجاه متبقيات المجال  $(I_r, D_r)$ ، وخط العرض والطول الجغرافى لموقع العينة  $(\lambda, \phi)$ . أما الإثنتين الغير معروفين المطلوب تحديدهما هما خطوط الطول والعرض للقطب القديم  $(\lambda', \phi')$  فى نظام الاحداثيات الجغرافية الحاضر.



شكل (5-8): حساب مكان القطب القديم (P) من معرفة انحراف وميل NRM لعينات من موقع S شاملة حل للمثلث الكروي N - NPS تمثل القطب الجغرافي الحالي

تكون الخطوة الأولى تحديد زاوية الفصل ( $\theta$ ) للقطب P من الموقع S. ويمكن الحصول على هذا من الميل (1) من اتجاه الميل المقاس بوساطة العلاقة الآتية:

$$\tan I_r = 2 \tan \lambda = 2 \cot \theta \quad (0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ) \quad (5-6)$$

ويمكن تعيين جوانب المثلث NPS (في عبارات لمسافة زاوية) حيث

$$SP = \theta, PN = (\pi/2 - \lambda'), NS = (\pi/2 - \lambda)$$

$$P, (D_r) = S, (\alpha = )N$$

وباستخدام العلاقة الجغرافية بين جوانب المثلث الكروي NPS نحصل على

$$\cos (\pi/2 - \lambda') = \cos \theta \cos (\pi/2 - \lambda) + \sin \theta \sin (\pi/2 - \lambda) \cos D_r$$

والتي يمكن كتابتها كالاتي:

$$\sin \lambda' = \cos \theta \sin \lambda + \sin \theta \cos \lambda \cos D_r \quad (5-7)$$

لحساب  $\phi'$ ، تحدد  $\alpha$  الأولى من العلاقة المعروفة من الهندسة الكروية

$$\begin{aligned} \sin \alpha / \sin \theta &= \sin D_r / \sin (\pi/2 - \lambda') \\ &= \sin D_r / \cos \lambda' \end{aligned} \quad (5-8)$$

لذلك يمكن تحديد  $\lambda'$  ( $-90^\circ$  إلى  $+90^\circ$ ) من المعادلة (7)،  $\alpha$  ( $-90^\circ$  إلى  $+90^\circ$ ) من المعادلة (8)، ويوجد حلين لتحديد  $\phi$  من  $\alpha$

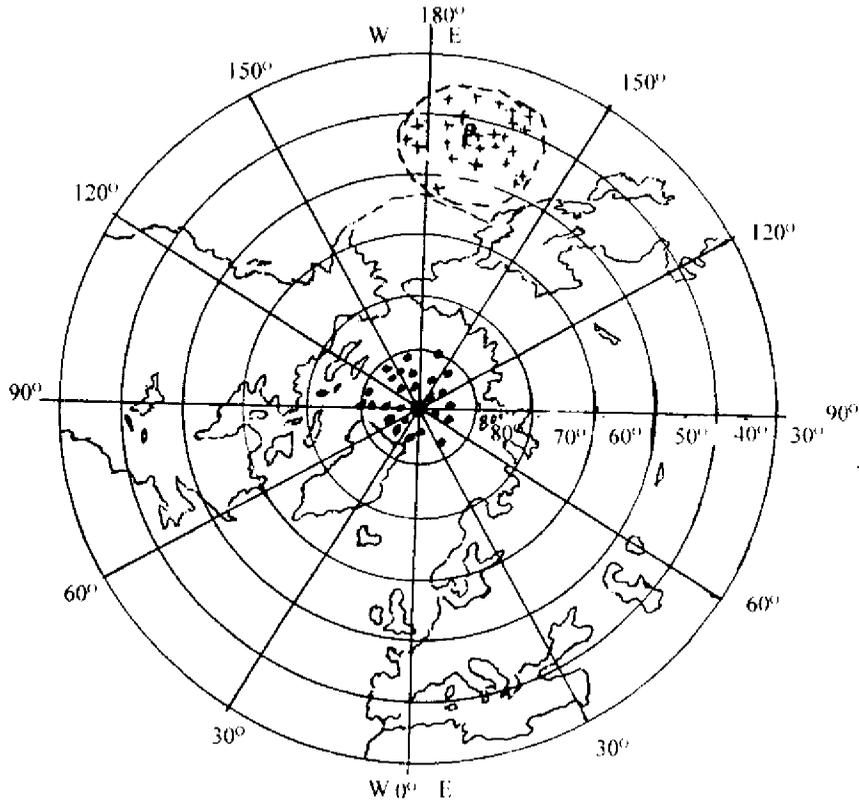
$$\left. \begin{aligned} \phi' &= \phi + \alpha \quad \text{عند } \cos \theta \geq \sin \lambda \sin \lambda' \\ \phi' &= \phi + 180 \quad \text{عند } \cos \theta < \sin \lambda \sin \lambda' \end{aligned} \right\} \quad (5-9)$$

حساب القطب من متوسط (معدل) اتجاه المغناطيسية القديمة ( $D_r, I_r$ ) عبر فترات ( $10^4 - 10^6$ ) كافية تماما للسماح للمركبات غير المحورية للمجال الأرضي لتكون معدل الخرج لما يسمى قطب المغناطيسية القديمة. لذلك، فإن قطب المغناطيسية القديمة = القطب الجغرافي القديم. من هذا يتضح أن القطب المغناطيسي الحقيقي القديم (VGP) virtual geomagnetic pole يكون القطب المحسوب من نقطة (موقع) قراءة تجاه المجال (مثل،

التي تعطى بواسطة مجموعة من قياسات  $D_r$ ،  $J_r$  على انسياب حجمي فردي أو مجموعة من  $D$  من عرض مغناطيسي)، أما القول الجيولوجي، فإن VGP يمثل لحظة زمنية، تماما مثل ما تكون الأقطاب الجغرافية.

أماكن الأقطاب الجغرافية المحددة من صخور عصر البلايوسين Pliocene وعصر البلايستوسين Pleistocene يوضح في شكل (5-9). مجموعة الأقطاب حول القطب الجغرافي (تاركة القطب المغناطيسي الحاضر، M أكثر بعدا) تدل بوضوح أن وجود المجال المغناطيسي على المعدل، له محور ثنائي القطب على الأقل خلال الماضي القريب.

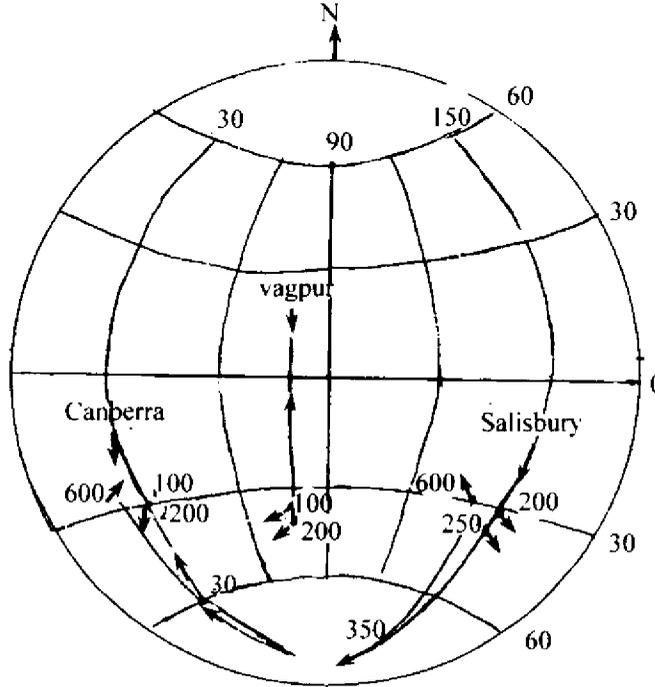
دلالة إرتباط محور ثنائي المجال الأرضي مع فترات الجيولوجيا القديمة ستوضح في قسم (5,6) ولكن لمتابعة الشرح سنفرض صحة خاصية محور ثنائي القطب (مثل تطابق المحاور الجغرافية والجيومغناطيسية. بهذا الفرض فإن العلاقة المعطاه في المعادلة رقم (5,6)، (5,7) تصبح هامة جدا في المغناطيسية القديمة. باستخدام هذه العلاقة، فإن خط العرض القديم  $\lambda$  لموقع المكان يمكن تحديده مباشرة من قياس الميل  $\alpha$  للمتبقية، أيضا قياس انحراف متبقى،  $D_r$ ، يعطى إتجاه الموقع بالنسبة للقطب، أي معرفة انحراف  $D_r$  من الصفر تدل على أن الموقع دار بالنسبة للقطب. شكل (5-10) يوضح أن خطوط العرض القديمة والسمت (azimuths) لثلاثة أماكن مأخوذة كنقطة مرجع لاستراليا، الهند، أفريقيا. من المهم تأكيد أن خطوط العرض القديمة لايمكن تحديدها، لأن كتلية الأرض يمكن وضعها في أي مكان على خط عرض معين.



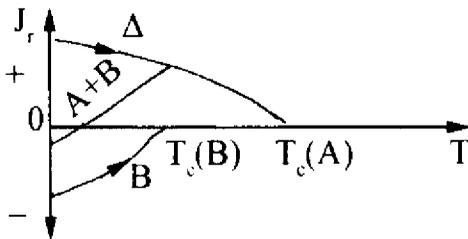
شكل (5-9): مسقط مجسم لنصف الكرة الشمالي. النقط السوداء المتجمعة حول القطب الشمالي تدل على مواقع البلايستوسين Pleistocene وأقطاب البلايوسين Pliocene محددة بالمغناطيسية القديمة، M تدل على الأماكن الحالية للقطب المغناطيسي. تعريف أقطاب البرمي Permian (المتجمعة حول P) سيفسر في جزء (1,6,5) (هولمز 1965) (Holmes 1965)

#### 4.5 إنعكاس المجال المغناطيسي الأرضي: Reversals of Geomagnetic Field

واحدة من أهم الإكتشافات في المغناطيسية القديمة حيث أن حوالي 50% من دراسة الصخور إلى الآن دلت تقريبا على وجود تمغنط في إتجاه عكسي للمجال الأرضي الحالي. وهذا يشارك بحقيقة أن المجال الأرضي عكس قطبيه أوقات كثيرة في الجيولوجيا الماضية. يدل وجود صخور ممغنطة عادية وعكسية مناصفة على أن المجال الأرضي ربما يكون له إحدى القطبين متساوي الإحتمالية. إذا كان التمغنط العكسي الذاتي شكل (5-11) حدث في أغلب 50% من الصخور، لذلك يجب بالأحرى ملاحظة التوافق.



شكل (5-10): خطوط العرض القديمة والسمت لثلاثة أماكن مأخوذة كنقطة مراجع لاستراليا، الهند، وأفريقيا. خطوط الطول ليس لها أهمية وتبدل اختياريًا. تدل اتجاهات الأسهم على دوائر خطوط الزوال القديمة، الأعداد بجوار الأسهم تدل على الزمن بملايين السنين (إرفنج 1964، مكلهاني 1973، معدل من كلارك 1971)

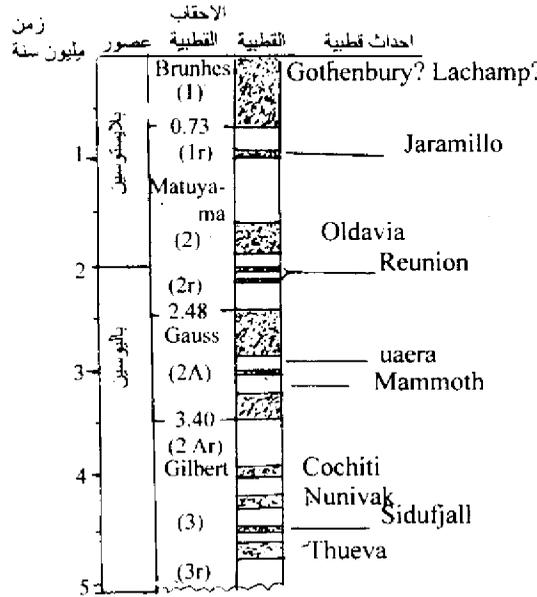


شكل (5-11): شكل هندسي يوضح ميكانيكية عكس ذاتي للمجنبيوسيتيك (نيل 1955). تحت شبكية اثنين فيرومجنيتك A، B، ربما يكون لهم شبكة عزوم باتجاهات عكسية. أثناء التبريد أسفل درجات حرارة كسوري المتوقعة  $T_{C(A)}$ ،  $T_{C(B)}$  تكتسب في اتجاهات عكسية نتيجة التمغنط تعكس الشبكات (A+B) اتجاهاتها مع التغير في درجات الحرارة.

#### 1.4.5 دلالة إنعكاسات المجال: Evidence for Field Reversals

توطدت حقيقة إنعكاس المجال بواسطة دلائل مستقلة مثل "أخذ المجال في تمثيل إنعكاس" في مواد صخرية مختلفة كلية من أماكن منفصلة باتساع مثل حمم من كاليفورنيا ورسوبيات بحرية من شمال الباسيفيكي. الحمم،

المنهجرة حراريا والمذابة، تكتسب مغناطيسية متبقية (TRM) بواسطة برودتها في المجال الأرضي، الرسوبيات المحيطة تكتسب مغناطيسية متبقية أخرى (DRM) بواسطة الترسيب البطيء والترسيب الكيميائي في مياه باردة. إذا أظهرت كلا من هاتين المادتين نفس التتابع الميقاتي (المرتب زمنيا) للإنعكاس شكل (5-12، 5-13)، عندئذ يجب أن تكون نتيجة المجال الأرضي معكوس قطبه حقيقيا ولا يكون بسبب تيار تزامني لميكانيكية الإنعكاس الذاتي في كلا المادتين.



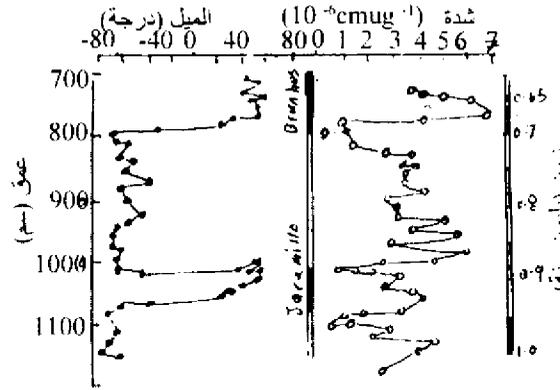
شكل (5-12): مقياس زمن قطب السينوزوي Conozoic الأخير موضح على تصحيح K-Ar لإتسباب حمى. النطاقات المنقطعة (قطبية عادية) والبيضاء (قطبية عكسية) وسميت بالأحقاب القطبية (على يسار عمود القطبية) وإحداثيات قطبية مدة الدوام (على يمين عمود القطبية). تبادل التصميم العدي موضوع على عدد تتابع شاذات مغناطيسية بحرية معطاه في قوسين. شاذة 11 تتبع النطاق المركزي للتبادل عند محور النوء (انظر شكل 5-13) والمكتسبة تمغنطها اثناء حقبة Brunhes العادي (مانكين ود لريميل 1979 Manknen & Dalrgmple) و(هارلاند وآخرين Harland et al., 1982)

1982

وجزاء آخر مقتع البرهان، يكون اختبار قطبي من "تماس التحميص" (baked contact). تمت دراسة مناطق التماس في صخور مضيضة والتي حمصت بواسطة تداخل صخور نارية مؤخرًا. وقد وجد أن مناطق التحميص تكتسب TRM مع نفس القطب في أغلب حالات الصخور النارية، بصرف النظر عن القطبية للمتبقيات المغناطيسية في صخور مضيضة غير محمصة (شكل 5-14). وقد وجد من تقرير 157 حالة عدم اتفاق في القطبية فقط في ثلاث حالات كما في الجدول الآتي (5-1).

الحالات المشتبها فيها للإنعكاس الذاتي self-reversal قليلة جدا بالمقارنة مع 104 حالة حيث كلا من الصخور النارية والصخور المحمصة ترى توافق للمغناطيسية (R). عدد الإتجاهات المتوسطة (1) حوالي 2% من الكلية، ومن المحتمل ان تعكس هذه الإتجاهات سلوك انتقالى للمجال الأرضي اثناء إنعكاس القطبية شكل (5-13). وقد سجل الانقلاب القطبي خلال السجل الجيولوجي، بالرغم من أن النسبة المنوية للأقطاب العادية (N) والمعكوس (R) لأى زيادة في الزمن أيضا تختلف مع الزمن. في محاولة لفرض معدل قطبي للمجال المغناطيسي الأرضي خلال 600 مليون سنة الأخيرة، تمت تحليلات لمواقع لتقرير N أو R لها. وعلى هذه القواعد عينت أربع فترات.

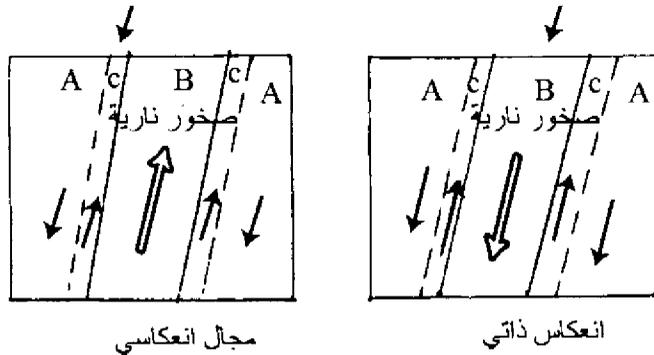
تميز الكريتايوى، الجوراس، أوردوفيشى والسيلورى المتأخر أساسا بواسطة القطب العادى N، وساد البلوزوى الأول والآخر بواسطة القطب المعكوس R.



شكل (5-13): تغير شدة التمتعظ والميل مع العمق كمسجل فى عينة بحرية رسوبية عميقة. الهبوط الواضح فى شدة NRM خلال الإنعكاس يدل على اقلال فى شدة المجال الأرضى خلال إنقلاب قطبى

جدول (5-1). قطبية المغناطيسية القديمة لصخور متداخلة وتماسها المحمص.

عدد الحالات	قطبية التماسات المحمص	قطبية الصخور النارية
47	N	N
104	R	R
3	I	I
	متوسط بين العادى والعكسى	
3	R	N
0	N	R



شكل (5-14): ترتيب أقطاب مغناطيسية لصخور متداخلة وصخور مضيئة محمص (وإعادة تمغظ) تمد دليل مفصل لمجال معكوس. ربما يدل عدم ترتيب فى الأقطاب (تلاحظ نادرا) على إنعكاس ذاتى. (A) صخور مضيئة غير محمص، (C) تماس محمص (B) صخور متداخلة.

## 2.4.5 ترتيب وتحديد أزمنة انعكاسات القطب المغناطيسي الأرضي

### Chronology of Geomagnetic Polarity Reversals:

بواسطة تزمين (توقيت) إنسياب الحمم بطريقة البوتاسيوم (K) الأرجون (Ar) K، يتعصد تزمين انعكاسات القطب المغناطيسي خلال 4-5 مليون سنة قبل الوقت الحاضر شكل (5-10). وقد وضحت النتائج تواجد دوران عالمي كبير (أحقاب) ثابت بحوالى 1 مليون سنة مع "أحداث" قطبية وجيزة خلال ثبوت هذه الأحقاب فقط ما بين 10,000 إلى 100,000 سنة.

يحتمل حدوث أغلب الإنعكاسات الحديثة فقط منذ 10,000 سنة مثل حادثة جوتنبرج Gothenburg المكتشفة فى ترسيبات حولية السويد، ومازال صحة هذا مع عدة أحداث قطبية قصيرة أخرى (مثل لاسشامب (Laschamp) ثابتة التأيد.

وقد قيم عدم التأكد فى التأرخ المطلق فى نتائج شكل (5-11) والتي تكون تقريبا 2% نتيجة من قياس العصر. ويكون هذا العائق الأساسى لإمتداد المقياس القطبى المفسر، وعند زمن 4 مليون عام فإن عدم التأكد فى زمن (~80,000 سنة) تصبح أكبر من بعض أحداث قطبية مدروسة ويمكن مد المقياس العكسى 10 مليون سنة بواسطة دراسات قطبية لعينات لبية (cores) من عمق البحار، والتي يمكن تأرخها بواسطة محتوياتها الحفرية. أيضا، وضعت إمتدادات لمقياس قطبى لعصور السينوزوى والميزيزوى على أساس تقييم عصور شادات المغناطيسية البحرية والتي نتجت من انفصال قاع المحيط.

### 3.4.5 سلوك المجال خلال انتقالات القطب: Field Behavior During Polarity Transitions:

يظهر سؤالين كبيرين لسلوك المجال المغناطيسى أثناء إنعكاس القطب. أولا، لماذا تضحل شدته إلى الصفر لتتمو مرة اخرى فى إتجاه معاكس. أو لماذا يغير قطب الأرض يعنى بذلك ثبات إتجاهه ب 180° بدون تغير فى شدته (يعنى ذلك عزم مغناطيسى). ثانيا ما هو الزمن المطلوب لتغير القطب (أو إنتقال قطبى)؟

ترى قياسات الشدة على الحجم وعينات البحر العميقة أنه بينما يتعرض القطب للإنتقال، فإن شدة المجال الأرضى تقل من 10%-20% من الشدة العادية (شكل 5-13). ويكون مثل هذا النقصان الشديد فى شدة المجال مناقض مع الدوران البسيط لثبات شدة مجال ثنائى القطب، لأن الأخير لايسبب مجال مزدوج أقل من مجال خط الإستواء، يعنى ذلك، نصف المجال المحورى.

يكون الزمن المأخوذ لانتقال القطبية المعينة من رتبة 2000-6000 سنة، بينما تغير الشدة (إضمحلها وبنائها) تأخذ فترات أكثر طول. وبذلك يظهر نوعا ما لسؤال مثل ماذا يحدث لمركبة مجال غير مزدوج أثناء التغير القطبى. الملاحظ بأن عدم إنتهاء شدة المجال أثناء الإنتقال القطبى يفسر بالإقتراح بأى جزء عدم ثنائية القطب للمجال لا تنقل بنسبة إلى مجال ثنائى القطب الأساسى، لذلك فإن المجال الضعيف عند زمن الإنتقال القطبى يكون عدم سيادية ثنائية القطب. وقد قدر اختلاف دوران هذا المجال الضعيف من 10,000 إلى 20,000 سنة.

وقد تمت دراسات تفصيلية لسلوك إنتقال وتردد الإنعكاسات القطبية بهدف نهائى إلزام نظريات الدينامو للمغناطيسية الأرضية والنماذج المقدمة لشرح انعكاسات المجال. وتشمل النتائج الهامة لهذه الدراسات تسجيلات مستمرة لطرق VGP أثناء الإنتقال القطبى ونماذج مختلفة للإنعكاسات القطبية.

**5.5 المغناطيسية القديمة لأرضية البحار :Paleomagnetism of Sea Floor****1.5.5 إنعكاسية المجال وتباعد أرضية البحار : Field Reversals and Sea-Floor Spreading**

تطبيق إنعكاس المجال الأرضي في مجال علوم الأرض خرج من المسح المغناطيسي للمحيطات. وكما ذكر سابقا، أظهرت هذه المسوح شاذات مغناطيسية خطية موازية لنتوء الإرتفاعات في جميع المحيطات. وقد فسرت هذه الشواذ في حزمية خطية مترددة لمغناطيسية البازلت العادية والعكسية في الطبقة الثانية من قشرة المحيطات. وعرفت الآن كيرهان مباشر لتباعد قاع البحر من نتوء منتصف المحيط.

وقد نمت فروض تباعد قاع البحر من اقتراحات مؤلفين سابقين حيث أن القشرة الجديدة تتكون بتقدم بوساطة العمليات المغناطيسية في قمم نتوءات المحيط. يعطى تباعد أرضية البحار الأفقية في كلا الإتجاهين الشكل الجديد للقشرة، مسببا الإزاحات القارية كتابع.

الفكرة المتممقة لتوضيح أساس تباعد القشرة البحرية مع فترات إنعكاس المجال المغناطيسي الأرضي صيغت عام 1963 اعتمادا على مجموعتي بحوث، واحدة منهم في كندا والأخرى في إنجلترا. اقترح مؤلفي المجموعتين أن نموذج أحزمة تبادل الشواذ المغناطيسية موجبة وسالبة ربما تكون نتيجة تباعد قاع البحر بعيدا عن النتوء خلال فترة الإنعكاس للمجال المغناطيسي الأرضي. تأتي المواد البركانية الجديدة الساخنة والمذابة على طول قمة النتوء (معروف بماصحبها إنسياب درجات الحرارة العالية والتصدع الواسع، وعندئذ تبرد إلى درجة حرارة كوري Curie مكتسبة TRM والتي يعرف إتجاهها بواسطة المجال المغناطيسي الأرضي عند هذا الوقت. هذا المواد تتباعد جانبيا حاملة السجل المغناطيسي لقطبية الأرض المغناطيسية، خلاصة الفكرة موضحة في شكل (5-15) حيث تكون عملية الإنفصال الجنوبي على هيئة تيارات حمل (حرارية) في الستار مكونة جزء جوهري للنموذج التكتوني الكروي.

**2.5.5 معدل تباعد أرضية البحر :Rate of Sea Floor Spreading**

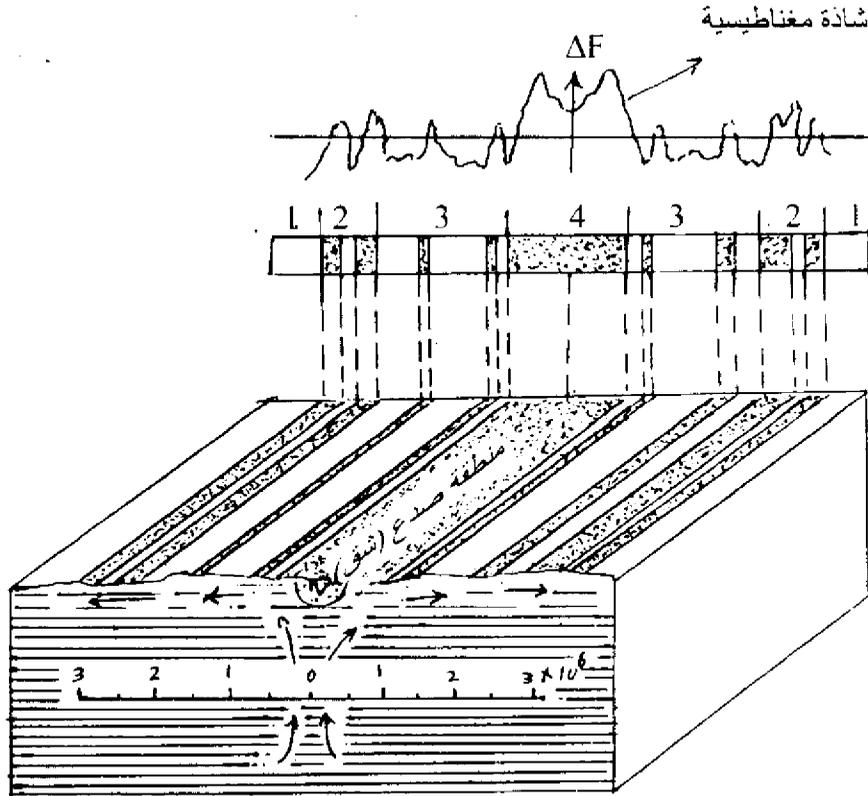
من المعروف أن  $Q^*$  لبازلت المحيطات أكبر من 1 والتي تدل على أن متبقياتها المغناطيسية تسود عبر الحث المغناطيسي ( $J > J_c$ ). لذلك فإن نموذج شاذة المغناطيسية الخطية تفسر في عبارات لنموذج تداخل مغناطيسي عادي وعكسي في طبقة البازلت (طبقة 2) من قشرة المحيط. يوضح شكل (5-16) بروفيل لشاذة مغناطيسية مقاسة عبر شرق إرتفاع الباسيفيكي Pacific Rise وتفسيره في عبارات من نماذج كتلية. يتفق نصف العرض لتداخل مركز المغناطيسية العادية (حوالي 300 كم) في الزمن مع الحقب العادي الحاضر (حوالي 0.7 مليون سنة) (أنظر شكل 5-12). هذه تخضع لمعدل تباعد حوالي 4.3 سم/سنة على كلا جانبي محور الإرتفاع الآن، وعند مقارنة توضيحية لوحظت عبر المحيطات بين الشاذة المغناطيسية الخطية ومقياس قطبية المغناطيسية الأرضية على أساس جيد لـ 4.5 مليون سنة مضت، دلت على أن معدل التباعد على طول عدة نتوءات يكون من حوالي 1-5 مليون سنة لكل جانب نتوء.

\*  $Q =$  نسبة كونجسبرجر Königsberger ratio وهي نسبة NRH الحاضر في عينات الصخور إلى الحث المغناطيسي بواسطة المجال الأرضي الحاضر  $F = J_c / K(F / \mu_0)$   
حيث  $J_c =$  المغناطيسية المثيقية،  $K =$  القابلية المغناطيسية،  $\mu_0 =$  التفاضلية المغناطيسية

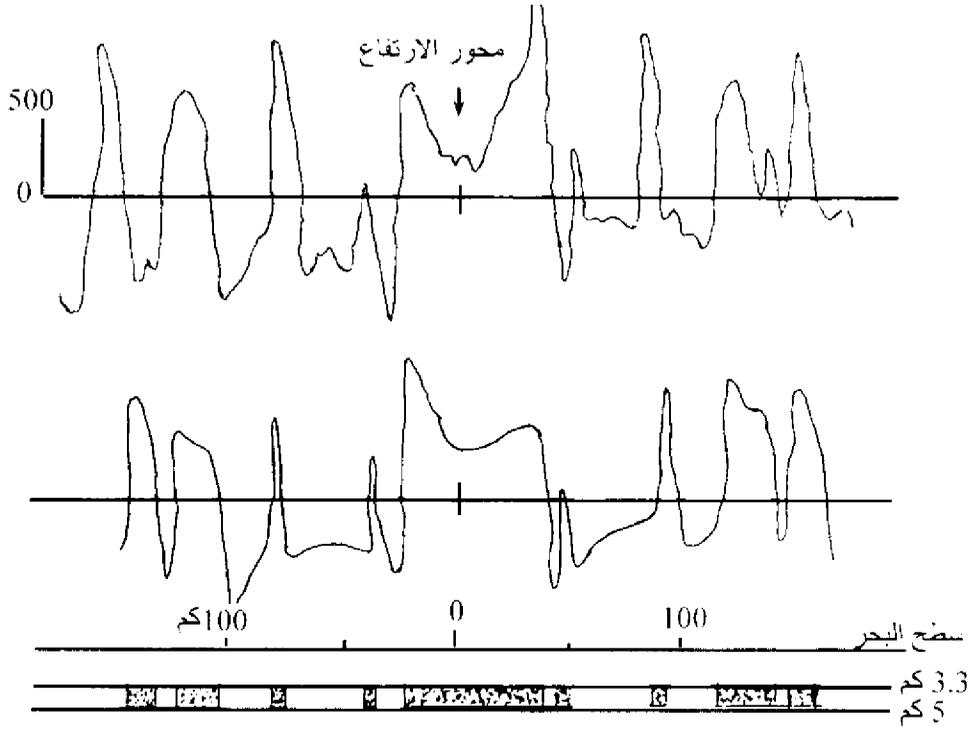
يوضح شكل (5-17): الصورة المبسطة للظواهر المغناطيسية الخطية الموجودة في محيطات العالم والتي تقودنا إلى بداية ملاحظة لحوالي 50% من تباعد قاع البحر العميق وهذا يعني أن 1/3 سطح مساحة الأرض، خلقت خلال 65 مليون سنة الأخيرة، ممثلة أكثر حادثة 1.5% من مقياس الزمن الجيولوجي.

بإنشاء مقاييس مغناطيسية أرضية تعود إلى 80 مليون سنة، والتي فيها رقت سيادة الأحقاب القطبية العادية من 1-32. وقد أدى هذا المقياس ببعض الباحثين الآخرين للرجوع لحوالي 160 مليون سنة على أساس تتابع شاذات هاواي Hawaiian في المحيط الباسيفيكي وعوريت باستخدام النتائج الزمنية من مشروع حفر بحري عميق ((Deep Sea Drilling Project (DSDP) بالمنطقة. ويوضح شكل (4-19) مقياس مصحح للمغناطيسية الأرضية.

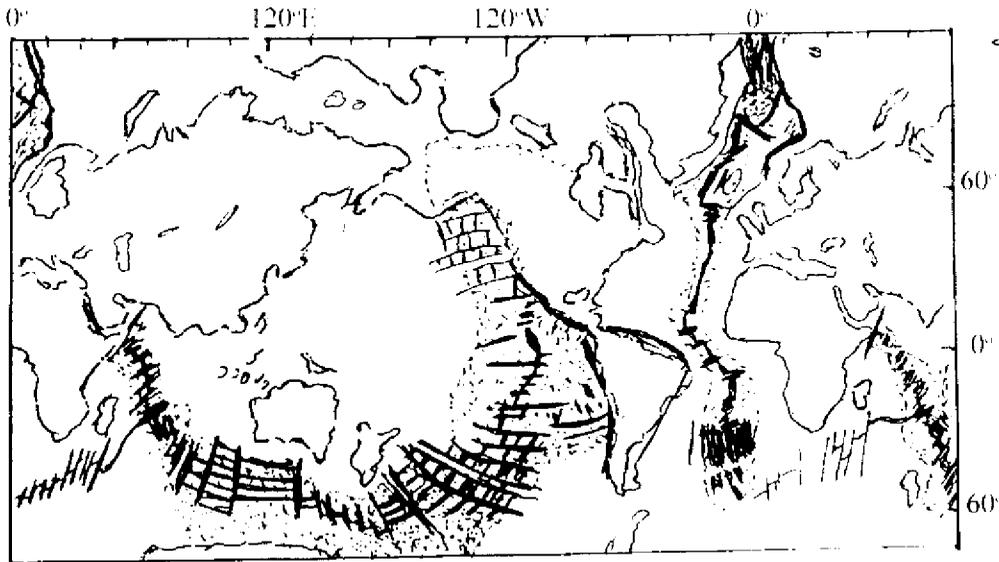
أيضا وجدت دلائل حركة أرضية البحار في الطبقات الرسوبية لقشرة المحيط. من قياس زاوية ميل المتبقيات المغناطيسية (J) لعينات رسوبية لوبيه من عمق البحار، أمكن تحديد خطوط العرض القديمة (المعادلة 5-6) ويعطى الجدول (5-2) مثال لنتائج حصل عليها من مثل هذه الدراسات على عينات لوبية بحرية عميقة من شمال غرب الأطلنطي بواسطة تفسير الميل الضحل مع العمق والزمن الناتج من الإزاحة الشمالية لأرضية المحيط، أمكن الحصول على متوسط معدل إزاحة حوالي 2 سم/سنة منذ العصر الكريتاوي.



شكل (5-15): منظر تخطيطي لتباعد أرضية المحيط كدلالة بواسطة تتابع شاذات موجبة وسالبة والتي نتجت بواسطة مقاطع مغناطيسية عادية ومعكوسة لقشرة المحيط (الن (Allan 1969). 1- جلبرت Gilbert، 2- جاوس Gauss، 3- ماتواما Matuyama، 4- بريونسي Brunhes



شكل (5-16): المنحنى العلوي بروفيل مغناطيسي عبر ارتفاع شرق الباسيفيكي ونموذج التفسير ككتل مغناطيسية عادية ومنعكسة (منقط وأبيض) المنحنى السفلي محسوب من النموذج بفرض أن معدل التباعد 4.4 سم/سنة.



شكل (5-17): خريطة بسيطة لشاذات مغناطيسية محيطية. الخطوط الثقيلة تشير إلى مقارنة الشاذات الخطية بتوازي قيم الننوعات. وتشير المنطقة المنقطعة إلى فكرة تكون القشرة المحيطية خلال السينزوي Cenozoic (أي منذ 65 مليون سنة مضت) (فاين 1972 Vine)

جدول (2-5) ميل متبقيات المغناطيسية الطبيعية (NRM) كدالة عمر لعينات لوبية بحرية عميقة من بئر JOIDES رقم 10 (32° 52N 521° 3W) فى شمال غرب الأطلنطى.

خط العرض القديم (N°)	الإتحراف المعيارى (درجة)	متوسط قيم الميل (درجة)	عدد القيم	العصر (مليون سنة)	العصور الجيولوجية
32.2	5.4	51.6	14	12	بلايوسين
27.1	5.0	45.7	10	30	أوليغوسين
24.2	4.8	42.0	6	45	اليوسين المتوسط
19.6	3.1	35.5	20	76	كمبيان

مصدر: نتاج (سكلتر وكوكس 1970 Sclater and Cox) باستثناء قيمتين بشدة متناهية الإنخفاض ( $NRM < 10^{-4} A/m$ ).

### 3.5.5 إرتحال الجزر البركانية والجبال البحرية: Migration of Volcanic Islands and Seamounts:

قدم ولسون 1973 Wilson خط برهان مستقل عضد نظرية التباعد التى أشارت إلى أن الجزر البركانية للأطلنطى تكونت أصلا عند منتصف نتوء المحيط وحملت الآن بعيدا بواسطة حركة أرضية البحر. ولذلك يزداد عمر الجزر مع زيادة المسافة من النتوء. تعضد أعمار جزر الأطلنطى التى حددت للأن بالإستنتاج العام لولسون Wilson، ولكن لاتستطيع التوافق مع فرض معدل التباعد المتساوى.

إكتسبت كثير من الجبال البحرية الموجودة على أرضية البحار الأصلية مثل البركانيات تحت البحار TRM قوة بعد برودتها بواسطة درجة حرارة كورى. ولأن الجبال البحرية تقع على أعماق كبيرة على أرضية المحيط. فمن المستحيل أخذ عينات إتجاهية لدراسة مغناطيسيتها القديمة. ولكن يمكن تعيين الشدة والإتجاه لمتبقياتها المغناطيسية من تحليل الشادات المغناطيسية المصاحبة لها. دلت النتائج التى حصل عليها من مثل هذه الدراسات على عدد من الجبال البحرية فى الشمال الغربى للباسفيكى- والذى يعتبر من العصر الكريتاوى- إنها إرتحلت شمال غرب بأكثر من 50° لتباعد خطها العرضى من موقعها الأسمى. ويكون من غير المنطقى إرتحال الجبال البحرية بدون إرتحال أرضية البحار نفسها.

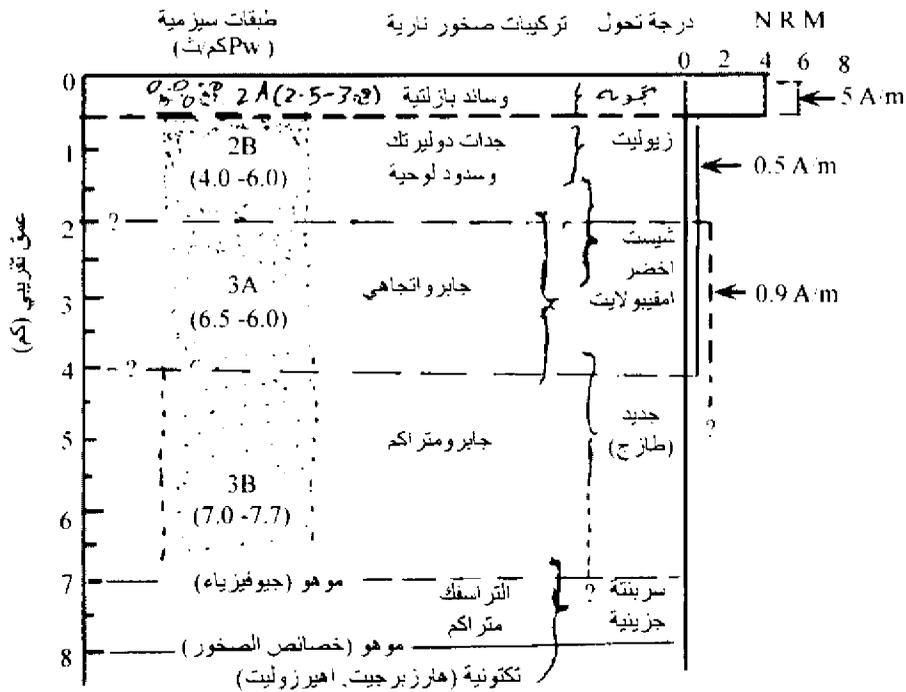
### 4.5.5 صعوبات بنماذج الكتل المغناطيسية: Difficulties with the Magnetic Block Model:

لأن الحركة الحقيقية لأرضية البحر لم تكتشف مباشرة، لذلك سوف يوجد بعض تخطيط نموذج حول المغناطيسية (شكل 5-16). المراكز الغير مؤكدة حول 1) التركيب الصخرى والخواص المغناطيسية للطبقات 3، 2 (المحيطة، 2) التعرض فى اختيار النماذج لتفسيرات شادات المغناطيسية البحرية.

فى عشرات السنين الماضية، تمت دراسة الخواص المغناطيسية بتوسع للعينات اللوبية لمشروع الحفر البحرى العميق (DSDP) للقشرة البازلتية (طبقة المحيط 2) من عدة مواقع. وقد أمد إستعراض المقالات بواسطة باحثين سابقين تفسيرات كبيرة حول هذه العينات اللوبية. وبرغم عدم إمكان عمل إتجاهى كامل للعينات اللوبية، فإن ميل المغناطيسية المتبقية أمكن تحديدها. مجازا، كانت مواقع الحفر قليلة ولكن أوضحت دراسات مغناطيسية قديمة نموذجية لهذه العينات اللوبية أن ميل NRM تكون ضحلة عن التى لمجال ثنائى القطب الأرضى عندالمكان. وكان أكثر الإندهاش أن لوحظ التغير فى قطبية المغناطيسية من العادى للعكس خلال الـ 500 متر العلوية للقطاع اللوبى (Core section).

ايضا اوضحت عينات (DSDP) من الصخور القاعدية المغناطيسية نموذج لمتوسط تمغنط منخفض (NRM)  $3-5 \text{ A/m}$  والتي تكون ضعيفة بحوالي خمس (5) مرات عن عينات الجرف من عدة مراكز متباعدة. ويكون احتمال اضمحلال التمغنط من نتائج انخفاض درجة حرارة التأكسد لمعادن التيتانومجنيتيت (titanomagnetites)، وتواجده يكون متعلق بالزمن (العصر). لكي تنتج شاذات ملاحظة السعة باستخدام هذه الشاذات المنخفضة للتمغنط، لذلك ضروريا يجب أن تكون الطبقة المغناطيسية عامة أكبر من المفروض لبعض 55 مترا (وسائد بازلتية) في تخطيط نموذج. تكون الطبقة اللابية (الناطقة)  $2\text{A}$  فقط بعيدة الإحتمال عن كونها سمك كافي، لذلك فإن وحدات الصخور العميقة في طبقات 2، 3 (خاصة في الميتاجيرو) تصبح مرشحة لهذه المصادر شكل (18-5).

وضحت دراسات كثيرة لجابرو المحيطات ثبات NRM مع متوسط شدة  $0.9 \text{ A/m}$ ، والتي تكون حوالي  $1/5$  الناتجة من طبقات البازلت الوساندية. وكذلك وجد أن متوسط قيمة NRM تكون تقريبا  $0.5 \text{ A/m}$  للأوفولايت جابرو. لذلك فإن طبقة الجابرو التي لها شدة NRM من  $0.5$  إلى  $0.9 \text{ A/m}$  تصبح منازع هام كمصدر طبقة إضافية للشاذة المغناطيسية البحرية، خاصة في رؤية لسمك أكبر من التي لطبقة الحمم الوساندية.



شكل (18-5): نماذج توزيع NRM مع العمق في قشرة محيطية (كنت وآخرين 1978)، بانيرجي 1984)، الطبقات السيزمية (بتروسين وآخرين 1974)

بينما مشكلة تعريف (تحقيق) "مصدر الطبقة المغناطيسية" للشاذات المحيطة، لم تحل لأن بواسطة عينات DSDP، فإن الإجماع العام بأن جميع عمليات الإنتاج والمغنطة لأرضية البحار تكون ظاهريا أكثر تعقيدا من التخطيط النموذجي لـ فين وماتويس 1963 Vine and Matthews نماذج المتابعة المقترحة لمولفين (مثل نموذج اللوح المائل لتداخل الحقن، نموذج إنتقال حد الانحدار القطبي، طبقتين نموذج معتمد على الزمن) غير

مؤكد استمالها على الفروض. للمصدر الرتبى، فإن الشاذات المغناطيسية المستمرة ذات البعدين تكون مشكلة للمغناطيسية القديمة البحرية.

### 6.5 دليل المغناطيسية القديمة للتباعد القارى: Paleomagnetic Evidence for Continental Drift

برغم أن فكرة تباعد القارات يرجع تاريخه إلى القرن السابع عشر، فإن ألفريد ويجنر Alfred Wegener 1912 أول من عمل صياغة مفهومة لنظرية التباعد، حيث افترض أن جميع القارات الموجودة حالياً كانت متصلة مع بعضها فى قارة كبيرة (بانجيا Pangaea) خلال البالوزوى العلوى upper Paleozoic وخلال الميزوزوى والثلاثى Mesozoic and tertiary. تكسرت بانجيا إلى قطع، وعندئذ تحركت القارات باتجاه الغرب وإتجاه خط الإستواء أو كلاهما. بعيداً عن التقارب التوافقى لخطوط الشواطئ المقابلة للقارات (مثل أفريقيا وأمريكا الجنوبية)، فإن ثلاثيات بيرموكربونى Permo-Carboniferous التى أثرت على أمريكا الجنوبية، جنوب أفريقيا، أستراليا والهند تمثل السندالرنيسى لهذا التوافق، وذلك باقتراح أن هذه الكتل الأرضية تجمعت حول القطب الجنوبى عند نفس الوقت شكل (5-18).

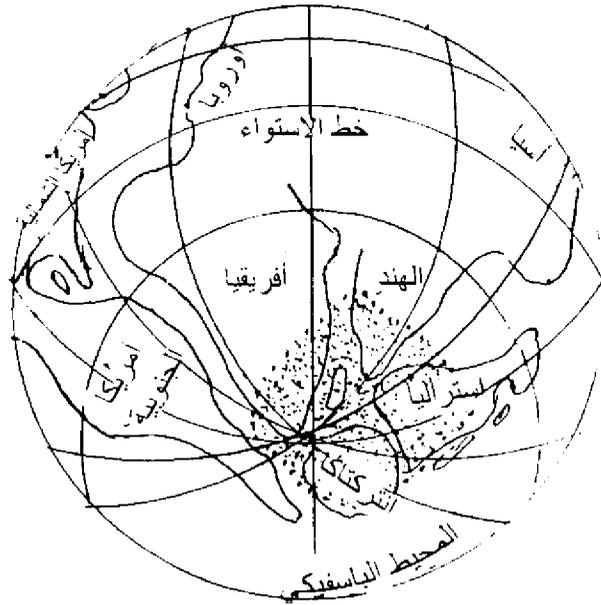
قدمت المغناطيسية القديمة الخط المهم للدلالة فى حل نتيجة هذه المجادلة الكبيرة. وللتعامل مع هذه المسألة يجب الإهتمام بمقياس الزمن لعدة ملايين من السنين لكى تقارن نتائج المغناطيسية القديمة مع تاريخ القارات. تكون قطبية مجال المغناطيسية الأرضية على مقياس هذا الزمن عديمة الأهمية، ولكن السؤال الأساسى ماذا يكون خاصية محور ثنائى القطب فى الجيولوجيا الماضية، بفرض أنه مفتاح هام.

### 1.6.5 دليل علاقة لفرض محور ثنائى القطب: Evidence Relating to the Axial Dipole Hypothesis

يوجد خطين لإقتراح دليل أن المجال الأرضى تابع لمحور ثنائى القطب فى الزمن البعيد: المغناطيسية القديمة والمناخ القديم. قد رأينا سابقاً فى شكل (5-9) أن المغناطيسية القديمة لعصر صخور البليستوسين Pleistocen والبليوسين Pliocene وضحت بإقناع خاصية محور ثنائى القطب للمجال الأرضى. فى نتائج الصخور القديمة، تصبح الحركات التكتونية أكثر معرفة، وتصبح فترات أقدم من الثلاثى Tertiary الأخير لجمع الأقطاب اضعف على مقياس ترابط القارات. ربما تمد المقياس القارى أو شبه قارى الدليل إلى فترات قديمة. وقد أعطت مجموعة ترابط متكاملة للأقطاب الترياسية Triassic من مساحات متسعة متباعدة فى أمريكا الشمالية ومن أقطاب ترياسى وبرمى Triassic and Permian (شكل 5-9) من أوروبا وسيبيريا (روسيا) تعضيد فسيح للنظريات بأن المجال المغناطيسى الأرضى كان ثنائى أقطاب ساند على الأقل لمدة 300 مليون سنة. ويكون لتوافق بين محور متوسط ثنائى القطب والمحور الجغرافى، ربما يكون صعب ثبوته بواسطة نتائج المغناطيسية القديمة وحدها، ويجب المعايرة باستخدام بعض مؤشرات أخرى لخطوط العرض القديمة.

إذا كان المجال الأرضى دائماً له خاصية محور ثنائى القطب، عندئذ تكون دلالة المناخ الماضى فى منطقة معينة متوافقة مع خطوط العرض القديمة للمنطقة المحددة بالمغناطيسية القديمة. يفرض فى المناخ القديم أن المناخ الماضى يمكن تحديده بمؤشرات معينة. بواسطة التشبيه مع المؤشرات للمناخ الحاضر، يمكن استخدام مؤشرات المناخ القديم لأستنتاج المناخات الماضية والمناطق المناخية. مثلاً، تشير الكربونات والشعاب البحرية

إلى مناخ دافئ، مناخ استوائي، مناخ شبه مداري، المتبخرات والطبقات الحمراء الحارة، المناخات الجافة، والظفل الجليدي المتصلب لتلاجات بيئية. وضحت خرائط المناخ القديمة التي أعدت بهذه الطريقة أن المساحات الآن الممتلئة بواسطة الأقطاب وخط الإستواء كانت دائما في أو قريب من وضعها الحالي، ولكن تغير مكانها على سطح الكرة الأرضية خلال مسلك التاريخ الجيولوجي. واحد من الأمثلة المشاهدة هي تلاجيات للبرمو-كربونيفرس Perm-Carboniferous الذي حدث مرة في مساحات هي الآن في أسفل خطوط العرض (شكل 20-5).



شكل (5-19): توزيع تلاجيات البرموكربوني Perm-Carboniferous مع إعادة تجمع القارات تبعا لنظرية وجنر Wegner لإزاحة القارات (مختارة من هولمز 1944)

لسوء الخط فإن تقدير نتائج المناخ القديم لكل نوع لا يؤكد تحديد خطوط العرض الجغرافية القديمة. ربما، يقل عدم التأكيد عندما تجمع الدلالات الملازمة بحكمة ويمكن بذلك مقارنة كمية لتحديد خطوط عرض المغناطيسية القديمة. دلت الدراسات في هذا المجال لعدة باحثين سابقين على توافق جيد نوعا ما بين خطوط العرض القديمة المحددة بالطريقتين السابقتين المختلفتين. هذه المقارنة بين المناخات القديمة وخطوط العرض القديمة، مع ذكر سابقا ملانما لأقطاب البرمي Permian والترياسي Triassic على مقياس شبه قاري، وقد ظهر هذا معضدا لنظريات ثنائي قطب مركزية الأرض على الأقل من الباليوزوي الأخير Late Paleozoic للحاضر.

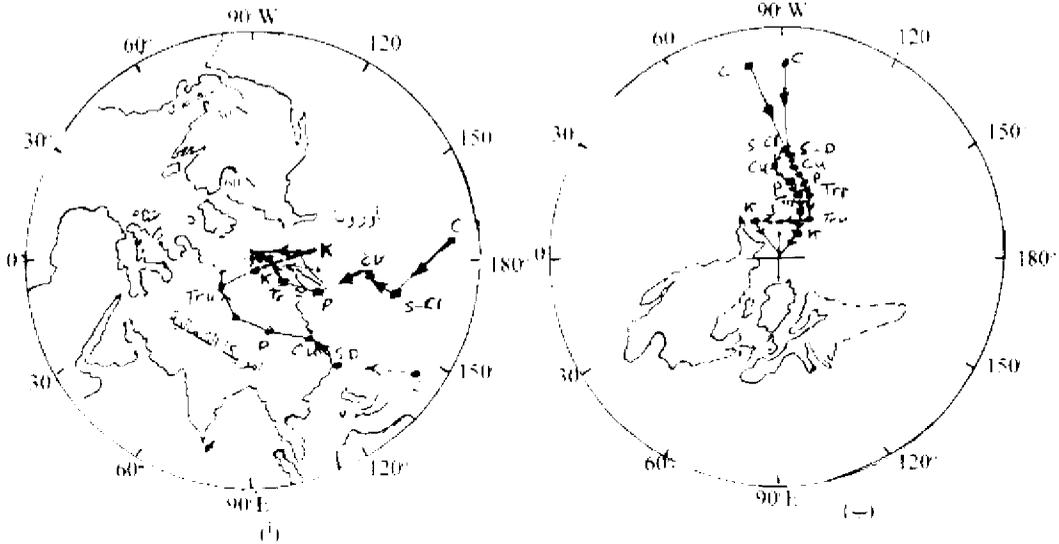
وكتحذير مضاد صارم جدا لقبول نظريات ثنائي القطب، فإن هناك باحثين اقترحوا وجود أساس لمركبات عدم ثنائية القطب أو شكل مجال إثنين ثنائي قطب معقد خلال فترات معينة.

### 2.6.5 تجوال القطب الظاهري وتباعد القارات: Apparent Polar Wander and Continental Drift

يوجد طريقتين أساسيتين لتمثيل نتائج المغناطيسية القديمة لمنطقة معطاه عبر عدد من الأحقاب الجيولوجية. في أحد التقارب، ترسم أماكن سابقة لكثلة أرضية في حدود لخطوط عرض المغناطيسية القديمة وكذلك لسمات (azimuths) بالنسبة للشمال الجغرافي الأرضي شكل (5-10). في التقارب الآخر، والذي يكون بسيط وأكثر

نوعية، ترسم الأقطاب المحددة للمنطقة من حقب لآخر على الكرة الأرضية الحاضرة، أو على مساقط استرجرافية. يشير المنحنى خلال هذه الأقطاب إلى أن منحنى تجوال القطب الظاهري Apparent Polar Wander (APW) (لهذه المنطقة المخصوصة) هو طريق التآرخ الذي ربما تبعه القطب. تمثل حركة هذا القطب الظاهرية تجوال القطب الحقيقي أو تباعد القارات أو كلاهما، ولاتستطيع النتائج من منطقة قارة مفردة فقط التوضيح بين الإثنين (تجوال القطب الحقيقي وتباعد القارات). ربما لأن هجرة طريق القطب المغناطيسي (متطابق مع القطب الجغرافي تبعاً لنظرية محور ثنائي القطب) تكون ظاهرة كونية، ويجب أن يكون موقع الملاحظ مستقل. حقيقة أن منحنيات APW لأمريكا الشمالية وأوروبا شكل (5-19) لا يتوافق أساساً مع دليل المغناطيسية القديمة لتباعد القارات ولوحظ هذا بواسطة رينكورن 1956 Runcorn.

المنحنيات لشكل (5-120) يكون صالح إذا تحرك شمال أمريكا بالقرب من أوروبا في قبول مع نموذج وأحسن تناسب لحافة قارات المحيط الأطلنطي (شكل 12-9). عندئذ تتفق المنحنيات نوعاً ما جيداً (شكل 20-5ب) من البرموكربوني Permo-Carboniferous (~300 مليون سنة) إلى زمن الجوراسي Jurassic (~160 مليون سنة) دالة على أن الكتلتين الأرضيتين اتصالاً خلال هذه الفترة من الزمن. في 150 مليون سنة الأخيرة، أو كذلك، فإن انفتاح الأطلنطي تسبب في تباعد المنحنيين. حدث عند نهاية أقطاب الكمبري Cambrian الأخرى لكلا القارتين تباعد، أدى هذا الإقتراح وجود قدم وإتساع الأطلنطي عند ذلك الوقت. وقد أدى قرب أقطاب الكمبري قريباً من خط الإستواء لإقتراح أن القارات تحركت جنوباً من وضعها الحالي.



شكل (5-20): أ) مقارنة التجوال الظاهري لطرق القطب لأمريكا الشمالية (دوائر) وأوروبا (مربعات) وتشير الرموز للعصور J جوراس، K كريتساوي، Tr ترياسي، Tru تراس علوي، Tr / ترياس سفلي P برمي، Cu كربوني علوي، S سلوري، D ديفون، C / كربوني، CL كربوني سفلي (ماكاليهيني 1973 McEl-hinny). ب) اقترح أن طريق تجوال القطب في توافق مع تناسب لقارات شمال الأطلنطي (بيولار وآخرين 1965 Bullard et al). اسقاط القطب ستروجرافيا (ماكاليهيني 1973)

### 3.6.5 إعادة التركيب القديم للقارات :Paleoreconstruction of the Continents

أشار باحثين سابقين أن من نتائج نماذج النتائج من قارات مختلفة لأزمنة معاصرة، يظهر أن الكتل القارية ربما تكرر كسرهما وإعادة اتصالها في عدة طرق. وتبعاً لإعادة التركيب (إرفنج 1981 Irving) للفانيروزوي (Phanerozoic) (600 مليون سنة مضت) (شكل 5-20)، يمكن تلخيص خطة تجمع وكسر القارات كالآتي:

1.3.6.5 تجمع القارات في العصر الكمبرى السابق لتكون بانجيا\* E (Pangaea) وأحزمة طيات القشرة الصلبة التحت سطحية الأفريقية.

2.3.6.5 إنفتاح المحيط الأطلنطى III في الكمبرى واتساع تشتت القارات في الأوردوفيشى.

3.3.6.5 إنغلاق الأطلنطى III في السيلورى الأخير، منتجة بانجيا D وشبه حزام طيه كالدونيان (Caledonian).

4.3.6.5 حركة عرضية بين الشمال والجنوب القارى فى الديفونى الأول والمتوسط لتجمع لوراسيا\*\* (Laurasia) وإنتاج بانجيا (C) (تشوه الباليوزوى المتوسط، خاصة شمال (نتوء جبال الأكاديان The Acadin Orogeny).

5.3.6.5 إنشقاق منفرد للوراسيا وجندوانا (Gondwana)\* لتنتج أطلنطك II فى الديفونى الأخير.

6.3.6.5 تقارب أطلنطك II فى الكربونى المتوسط (حركة نتوء الجبال الهرسينية Hercynian) لتكوين بانجيا B.

7.3.6.5 إعادة ترتيب التراسى للوراسيا وجندوانا لإنتاج بانجيا A، والتي كسرت فى الجوراسى لتكون أطلنطا الحديثة، الهند، المحيطات القطبية الشمالية.

من المهم توضيح أن البانجيا (خاصة B إلى E) تكون فقط محاولات افتراضية لم تتعرض امدادات نتائج المغناطيسية القديمة نفسها لخطوط الطول، وأختيرت خطوط الطول بواسطة الإضطراب لحركة نسبية صغيرة للقارات، وبواسطة اضطرابات أخرى مثل حركة أحزمة نتوء الجبال الكبيرة شكل (5-21).

#### 4.6.5 أمثلة عن تصادم وتزايد القارات: Examples of Continental Collision and Accretion:

مثال الإقتراح الخاص لتجزئة وتصادم القارات هو شبه الجزية الهندية والتي نزعت نفسها من أرض جندوانا متحركة بسرعة باتجاه الشمال واندفعت بمقابلة آسيا، وقد اقترح أن الدفع مازال جارى بسبب الإرتفاع المستمر لسلسلة الهيمالايا والإنتشار الواسع للنشاط الزلزالى والتكتونى فى وسط منطقة الدفع. يوضح شكل (21-5) لحركة التدريجية باتجاه الشمال وعكس دوران الساعة للهند خلال الميزوزوى الأخير وعصر السينوزوى.

تطبيق مثال كورديليرا Cordillera لأمريكا الشمالية هام جدا فى كثير من الإزاحات الأرضية والألواح الصغيرة، والتي مغناطيسيتها القديمة واضحة الإزاحة المنظمة من منحى المرجع APW لراسخ\*\* أمريكا الشمالية. يوضح شكل (5-22) أقطاب المغناطيسية القديمة للميزوزوى والمخالف حديثا لعدد من أراضى الحافة الغربية لأمريكا الشمالية. وقد حصل على كثير من هذه الأقطاب من وحدات صخرية طباقية، حيث لا يوجد غموض حول تصحيح ميل الطبقات. فى مثل هذه الحالات، فإن نتائج متبقيات الميل مسنولة حقيقة من خطوط العرض القديمة (المعطاء بالمعادلة (5-6)) عند زمن إكتساب التمغنط. إذا انحرفت خطوط العرض القديمة عن ما هو متوقع بالنسبة للمساحة فإنه يستدل على إزاحة المساحة بالنسبة للراسخ.

\* أم القارات: الأرض المنضمة قبل زحزحة القارات.

\*\* قارة قديمة كبيرة يعتقد أنها تولف وحدة برية واحدة، ونشأ عن تشققها وانجراف بقاياها القارات الحديثة الثلاث: أوروبا - آسيا وأمريكا الشمالية. جندوانا: قارة عظيمة يعتقد أنها كانت وحدة برية (فى الحقب القديم) ونشأ عن تشققها وانجراف القارات أفريقيا، أمريكا الجنوبية، استراليا، جنوب آسيا والقارة القطبية الجنوبية.

\*\* راسخ (craton) كتل صخرية راسخة تحدث بينها الطيات المقعرة.

يمكن رؤية اتجاه الإزاحة العامة فى اتجاه الشمال فى شكل (5-22)، بمعنى أن أغلب الأقطاب المخالفة تتحرك نوعا ما من مواقع الأقطاب المعاصرة لمنحنى مرجع أمريكا الشمالية. بالإضافة، بالنسبة للمواقع، فإن أغلب الأقطاب الحائدة زحبت فى اتجاه اليمين، دالة بذلك على دوران فى اتجاه عقارب الساعة. حقيقة، فإن أغلب الأراضي متحركة، ويبدو أغلبها كأجزاء قشرية غريبة تتصادم وتتزايد لحافة راسخ أمريكا الشمالية أثناء عصور الميزوزوى والسينوزوى المتقدم.

### 5.6.5 شبه قارات البروتروزوتك Proterozoic Supercontinent:

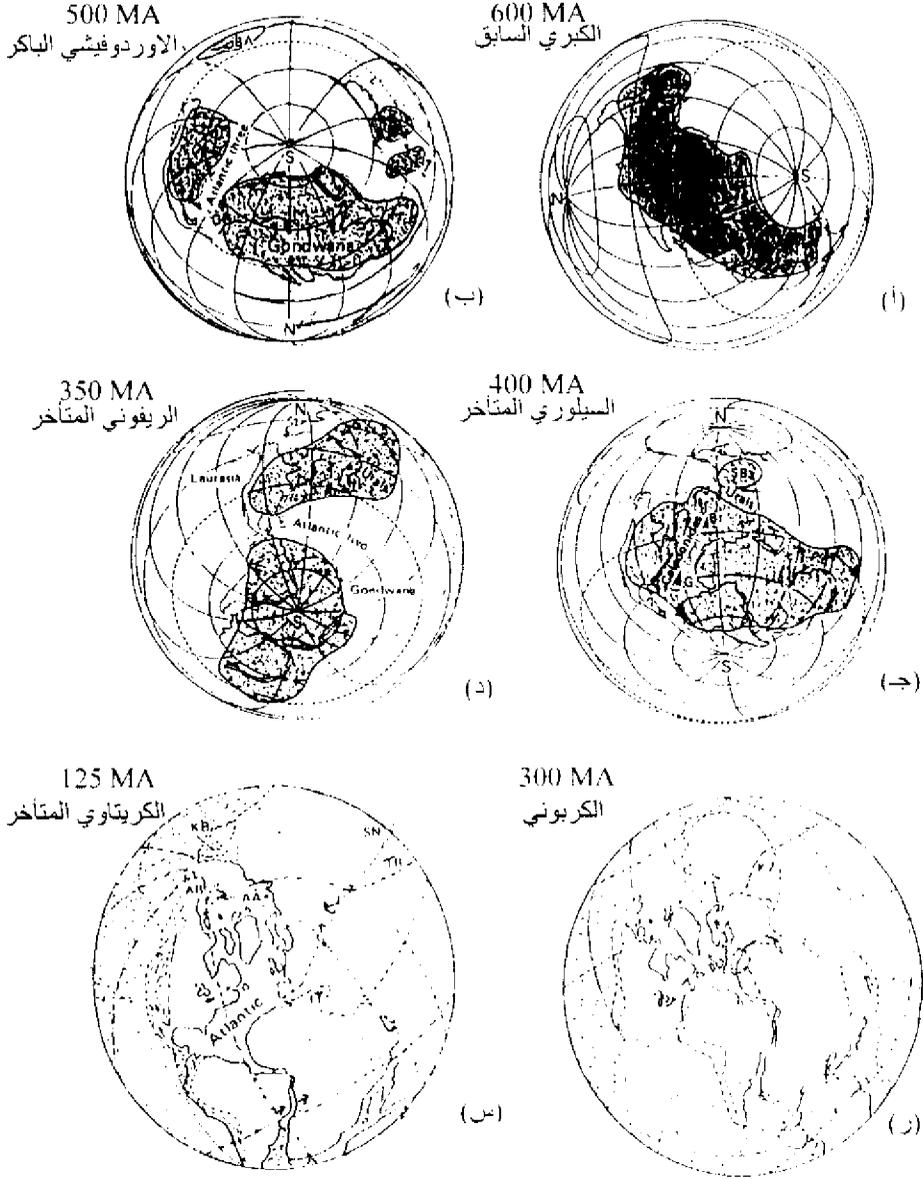
يكون إعادة شكل القارات فى عصر البريكامبرى صعب، وتزداد الصعوبة بازدياد الزمن. هذا لأن النتائج الإشعاعية الدقيقة التى تمثل عصر التمعنط يكون من الصعب الحصول عليها فى أغلب صخور البريكامبرى. عندما تكون النتائج أقل تأكيدا، فإن قطع من طرق التجوال الظاهرى للقطب APW غالبا ما تكون متصلة بطرق مختلفة، وهذه تؤدى إلى تنوع وموقع منحنيات APW. بالرغم من هذا التحديد، فإن نتائج المغناطيسية القديمة للبريكامبرى تكون نتائج معلومات كمية هامة على التوزيع الإحتمالى وتحركات المناطق القارية.

قدمت نتائج المغناطيسية القديمة من أمريكا الشمالية وأفريقيا رأيا بتقارب تشابه طرق APW من 1000 مليون سنة تقريبا إلى 2200 مليون سنة، والطرق تقريبا صالحة بواسطة اتصال مناطق أفروأريبيان وأمريكا الشمالية لتكون وحدة قارية متصلة شكل (5-23). نتائج المغناطيسية القديمة من القارات الجنوبية علاوة على أفريقياسيرغم من انفصالهم. تكون متوافقة مع تناسقهم (أشكالهم) بالنسبة لأفريقيا أثناء الفترة الأعلى. يوضح شكل (5-23) أيضا أن الأحزمة الأصلية الخاصة بـ  $1150 \pm 200$  مليون سنة أمر ذو بال (قصة استطرادية)، تشتت الآن بواسطة الإزاحة الأخيرة، حيث يحتمل أن تكون ظاهرة متحدة موضوعة على طريقة قوس إتساع شبه قارة البروتوزوى. ومن المحتمل أن التفتت (التجزء) الكبير لشبه قارة البروتوزوى لم تبدأ حتى زمن البروتوزوى الأخير.

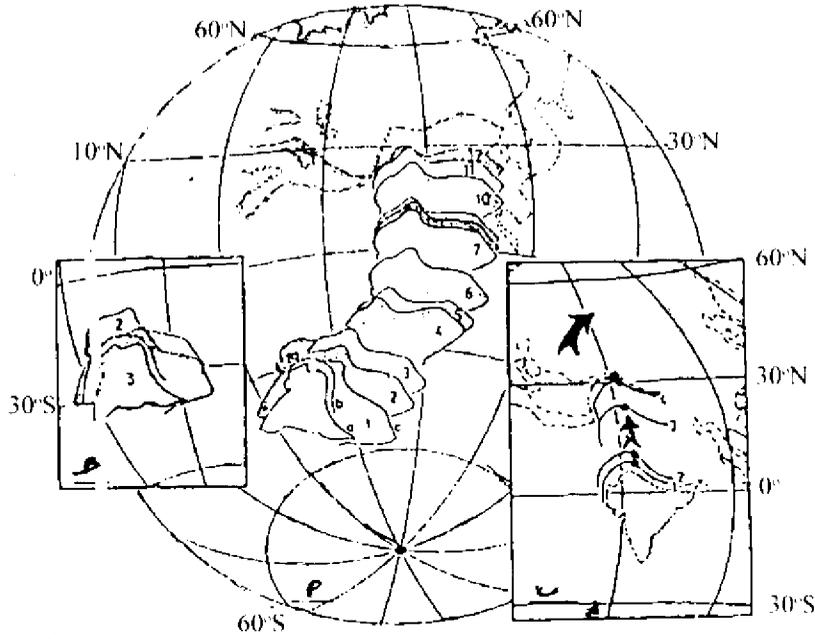
### 7.5 تطبيق لمسائل متنوعة Application to Miscellaneous Problems:

#### 1.7.5 مقياس تركيبى صغير ومشاكل تكتونية: Small-Scale Structural and Tectonic Problems:

تزداد تطبيقات المغناطيسية القديمة لتفسير أنواع كثيرة لمسائل جيولوجية إقليمية متعلقة بالطبقة والتركيب أو التكتونية. أختبرت الأمثلة المشروحة هنا أولا لتوضيح استخدامات الدراسات المغناطيسية القديمة فى إمداد معلومات جيولوجية.



شكل (5-21): خرائط إعادة تركيب قديم. (أ) تجمعات بانجيا عند نهاية البريكامبري، SB الدرع السيبيري، SN الدرع الصيني. (ب) افتتاح أطلنطي III وإتساع إنتشار القارات، BA البلطقي، G البريطاني، ليورنتيا. (ج) إنغلاق أطلنطي III وتكوين حزام الطي الزائد الكاليدوني وبانجيا الجديدة. (د) افتتاح أطلنطي II وإنشقاق تباعدى ليورسيا وجندوانا. (هـ) إنغلاق أطلنطي II في منتصف الكريوني (حركة نتوء الجبال الهرسينية) وتجمع بانجيا أخرى. (و) أدى إنكسار البانجيا في الجوراسي لتكوين الأطلنطي الحديث، الهند ومحيطات أركتك Arctic، نسميا كان إتساعها صغير في أزمنة الكريتاوي [(أ-د) مورل وارننج 1979 Moral & Irving، (هـ) ارفنج 1981 Irving]



شكل (5-22): انحراف إتجاه الشمال ودوران عكس اتجاه الساعة للهند الكبرى (Greater India) تابع لإتكسار الميزوزوى الأوسط من جواندون لاند Gondwanaland (كلوتوجيك وآخرين 1981 Khoetwijk et al). (أ) إتجاه خط عرضى من الهند من الميزوزوى الأوسط إلى الميوسين الأخير (12a1) مستخرجة من دراسات المغناطيسية القديمة لصخور قارية وعينات لوبية من مشروع PSDP من المحيط الهندى. (ب) أماكن خطوط عرضية قديمة لتداخلات لاداك Ladakh عند حوالى 20-50 مليون سنة. (ج) أماكن خطوط عرض الميزوزوى الأوسط القديم لشبه قارة الهند الباكستانية IndoPakistan مستخرجة من تحول أقطاب الجوراسى الأوسط من أستراليا وأنتاركتيكا Australia & Antarctica.

#### 1.1.7.5 إنحنائية اليابان Bending of Japan:

تعرضت جزر اليابان لكثير من تفسيرات المغناطيسية القديمة. وضع كاواى وآخرين 1961 Kawai et al أن إختلاف توافقى لحوالى 53° فى الإتجاهات الرئيسية (انحراف فقط) لـ NRM موجود من جانبي الشمال الشرقى والجنوب الغربى لقوس اليابان، بينما صخور الترشى وصخور ما قبل الترشى (الثلاثى) (Pre-Tertiary) وصخور الرباعى (Quaternary) من كلا جانبي طيه ترى الإتجاهات التى تقترب إلى الشمال الجغرافى وايضا كل للآخر. وقد علل بعض المؤلفين، أن الإختلاف فى الانحراف يعزى إلى التشوه الأساسى عند الوسط إلى إمتداد حوالى 53° فى الثلاثى المتقدم (المبدر). هذا الإستنتاج يتوافق مع الحقيقة إن المحاور الأساسية لجانبي الطيه غرب وشمال شرق مكونة زاوية على الخريطة الحالية حوالى 123° دالة على إنحناء تقريبي خلال 37° حول الوسط لجزيرة هونشو Honshu الأساسية.

#### 2.1.7.5 دوران اسبانيا Rotation of Spain:

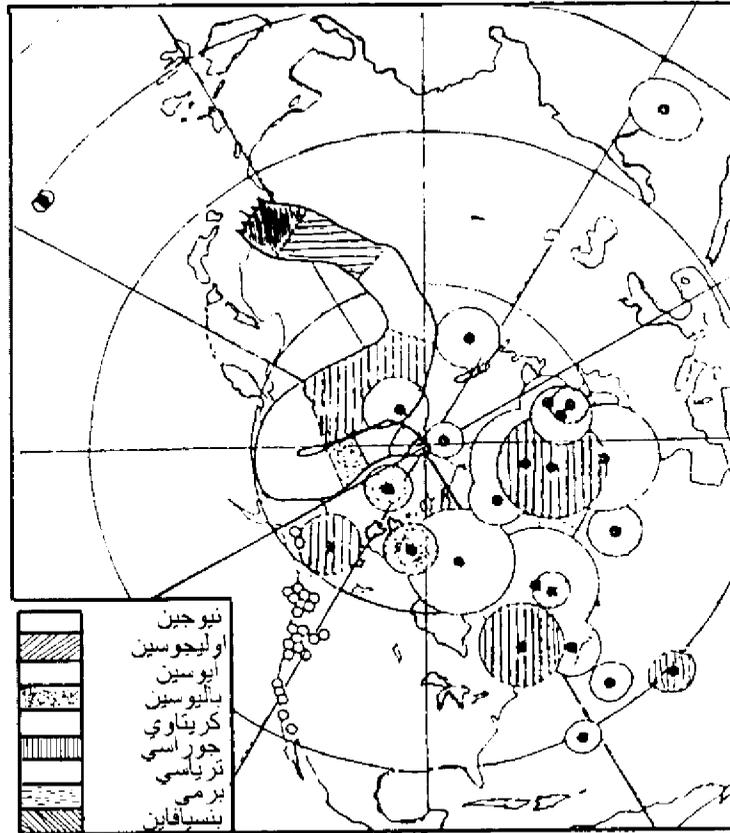
فكرة أن شبه جزيرة إبيريان Iberian عانت (كابدت) دوران عكسى مسار الساعة مشهورة بين كثير من مقترحي الإزاحة، وفى فرض خاص لكارى 1958 Carey على أسس جيولوجية فقط، بين أن شبه جزيرة ابريان تعرضت لدوران عكس الساعة خلال 35° بالنسبة إلى مستقر (إضافى - ألبيين Alpine) أوروبا فى أزمنة الميزوزوى المتأخر. تمت عدة دراسات مغناطيسية قديمة متعلقة بدوران أسبانيا. وقد وضحت نتائج عينات صخرية من تداخل البرمى والكربونى (Permo-Carboniferous) تعرضت إلى إختبارات أنها رضخت

لإنحراف مغناطيسية قديمة التي تختلف بحوالى 35° من التي لأوروبا المستقرة. ويكون الإنحراف فى الميل غير ذات أهمية. وقد وضعت دلائل المغناطيسية القديمة صاعدا بواسطة فان درفو (VanderVoo) حيث عضدت بإقناع مواجه دوران ضد الساعة بواسطة كارى (Carey).

اتفقت النتائج الحديثة للمغناطيسية القديمة من رسوبيات الميزوزوى لأسبانيا مع الإستنتاجات الأولية حول الدوران واقتراح الدوران البادئ فى أزمنة الكريتاوى المتوسط (Mid-Cretaceous).

### 3.1.7.5 الدوران النسبى لكتلة بوهيميان Birkenmajer et al 1958

أنجز بركنمجير وآخرين Birkenmajer et al 1958 دراسات مغناطيسية قديمة للصخور النارية والرسوبية لزمان الكربونى العلوى من حوض سيودتك الداخلى Inner Sudetic كتلة بوهيميان Bohemian. وقد وجد إختلاف هام لحوالى 17° فى إنحراف المغناطيسية اقديمة للمنطقتين شكل (5-25) مع وجود توافق كامل بين النتائج المقاسة على الصخور النارية والرسوبية. أيضا، الإختلاف فى الزمن، أو فى إعادة التمغنط الثانى، لاتظهر القدرة لتفسير الإختلاف الهام فى إنحراف المغناطيسية القديمة بين المنطقتين. لذلك استنتج بركنجير وآخرين أن حوض سيودتك الداخلى وكتلة بوهيميان تعرضت نسبيا لدوران بعد الكربونى حول محور رأسى خلال 17°. بينما دليل المغناطيسية القديمة للدوران تظهر اقناع تام، بسهولة بسيطة تصميم أى مساحة دارت بالنسبة لأوروبا ككل.



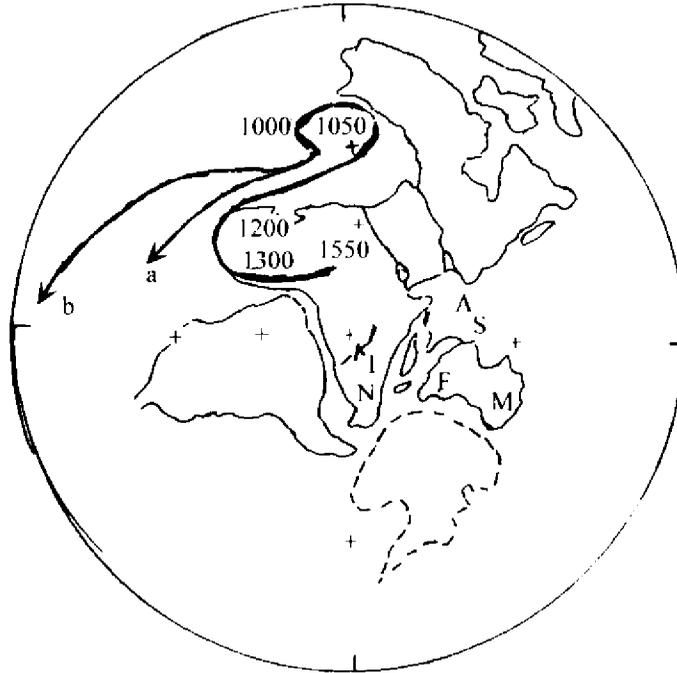
شكل (5-23): تنقيط لإنحراف للميزوزوى وأماكن أقطاب حديثه من غرب كورد يلليرا شمال أمريكا Cordillera N. America بمقارنة مع طريق تجوال القطبى الظاهرى لشمال الرواسخ الأمريكية إرفنج 1979 Irving. تشير الدوائر المفتوحة إلى مواقع العينات والمغلقة إلى الأقطاب بتوافق موثوق 95%. شارما أعاد الرسم من (فان درفوساتيل Candervoo and Channele 1980).

## 2.7.5 ترمين (تاريخ) المغناطيسية القديمة والإستراتيجية المغناطيسية

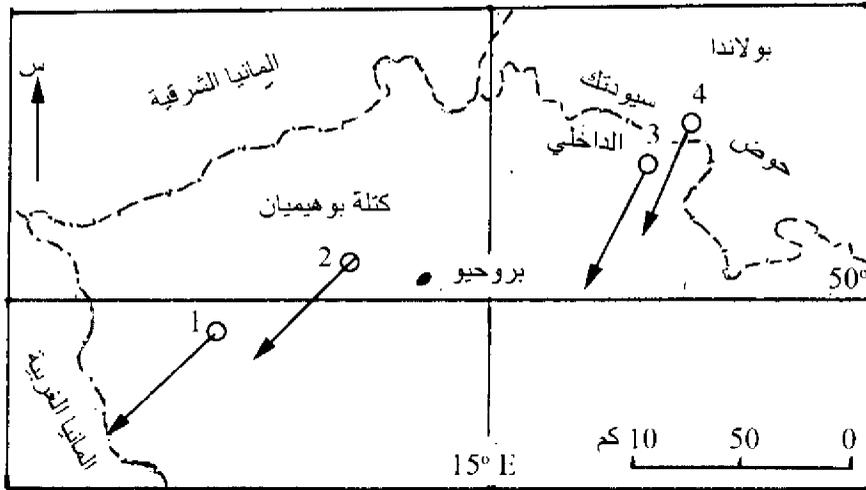
## Paleomagnetic Dating and Magnetostratigraphy:

أنتج زيادة زمن الصخور من كتلة استقرار شبه قارى متوسط أماكن قطب المغناطيسية القديمة والتي زادت إزاحتها من مكان القطب الحالى. لذلك، يمكن تعيين زمن المتبقيات من أماكن الصخور بواسطة تحديد مكان متوسط قطب المغناطيسية القديمة على منحنى تجوال القطب المعروف لنفس استقرار الكتلة تكتونيا. ومن الضروري التحديد الدقيق لمنحنى تجوال القطب خلال قياسات يعتمد عليها قبل إستخدامها للتأريخ المغناطيسى للصخور الخاصة لنفس الوحدة التكتونية. ويكون لتطبيق الجهد للمغناطيسية القديمة كأداة تأريخ أهمية خاصة فى دراسة صخور رسوبية غير حفريّة.

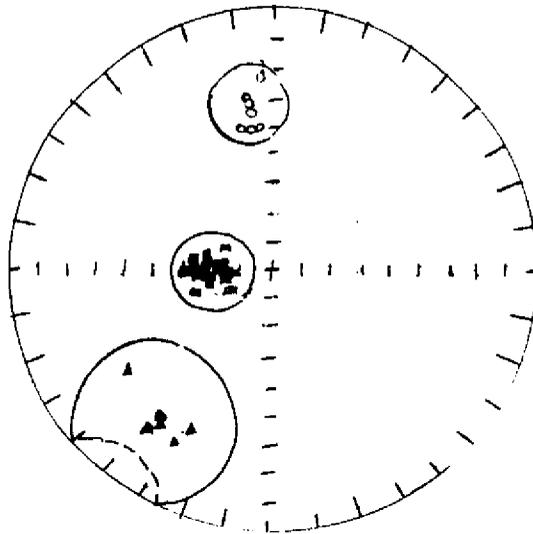
الإختلافات الواضحة فى إتجاهات المغناطيسية القديمة الناتجة من صخور تكونت أثناء إحداث كبيرة لصخور نارية فى مساحة تكون هامة جيولوجيا حتى عند عدم منشأ لمنحنى تجوال القطب للمساحة. أيضا لا يمكن تقدير قيمة الإختلافات الزمنية الهامة فى إتجاهات المتبقيات. مثال ذلك، ترى سدود ما قبل الكمبرى لنفس الإتجاه (سلسلة أبيتى Abitibi) فى الدرع الكندى، ثلاث مجموعات مختلفة الإتجاه شكل (5-26) ولذلك يحتمل أن تكون هذه المجموعات لثلاث عصور مختلفة. فى دراسة تمت بواسطة فاهرج وآخرين 1965 Fahrig et al لسلسلة سدود ماكينز (Mackenz) (أيضا فى الدرع الكندى) حيث وجد أن إتجاه العينات المجمع من سدود متباعدة باتساع وتختلف فى على الأقل بـ 30° أنها أحسن ما جمع. أدى هذا الإقتراح أن تداخل السلسلة حدث لصخور نارية لأجل قصير نسبيا.



شكل (5-24): إعادة تركيب قارات جندوانا وشمال أمريكا قبل حوالى 1000 مليون سنة. BP اشتقت من نتائج المغناطيسية القديمة. أحزمة حركات بناية الجبال تختص بحوالى 1200 مليون سنة (A) أرافالى (Aravali) ، (F) فرازر (Frazer) ، (G) جرنفيلى (Gerenville) ، (I) إروميد (Irumide) ، (K) كبران (Kjbaran) ، (M) موسجراف (Musgrave) ، (N) نامكولاند (Namugualand) ، وبدء تجمع طرق تجوال القطب الظاهرى من حوالى 1000 مليون سنة لشمال أمريكا (a) وأفريقيا (b) (ببير 1974 Piper)



شكل (5-25): خريطة خطية توضح مناطق العينات في حوض سيودتك الداخلي (3, 4) وكتلة بوهيميان (1, 2) لصخور الكربوني العلوى. وأيضا ترى اتجاهات المركبة الأفقية للمغناطيسية المتبقية القديمة للصخور المدروسة (بركنمجيير وآخرين (Birkenmajoer et al 1968

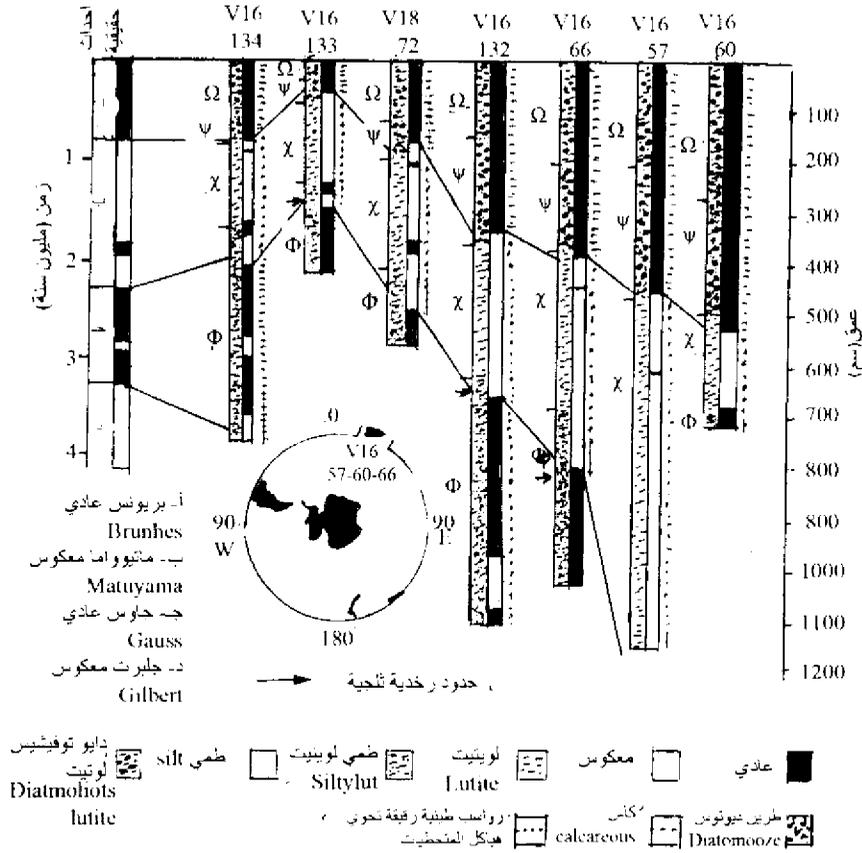


شكل (5-26): تاريخ نسبي بواسطة اتجاهات المغناطيسية المتبقية. سدود بنفس الإتجاه في كندا. سلسلة أبييتي (Abitibi)، ترى ثلاث اتجاهات واضحة ومن المحتمل لها ثلاثة عصور مختلفة (لاروسيللي Larochelle 1966، إعيد الرسم بواسطة تارلينج (Tarling 1971

توجد عدة تقارير مقارنة لتتبع حمى عند أماكن مختلفة بواسطة مطابقة اتجاهات NRM لها. مثال ذلك مقارنة استخدام اتجاهات المغناطيسية المتبقية كما في شكل (5-27) الذى يوضح تتابع حرم الثلاثى على منطقتى ستور Storr وكيورنج Quirang باسكتلاند Scotland المتباعدين بحوالى 15 كم. وعرف من الدلائل الحقلية أن لهم نفس العصر، ولكن لم تعمل مقارنة متتابعة بواسطة الطرق الجيولوجية العادية. بواسطة مطابقة الاختلافات لإتجاهات المغناطيسية القديمة فى كل قطاع، فقد وجدت مقارنة جيدة لإنسياب كيورانج Quirang (8 مع بعضهم) مع الإنسيابات من 10-17 عند ستور Storr.

يشير استخدام قطب المغناطيسية الأرضية كعلاقات أفقية فى التكوينات البركانية والرسوبية لنتائج جزية الثلج Iceland التى تعود إلى سنة 1950. منذ ذلك، تستخدم الطريقة باتساع كإضافة إلى التخريط الحقلى فى جزيرة الثلج وأماكن أخرى.





شكل (28-5): مقارنة للمغناطيسية الأستراتجرافية في سبع عينات لوبية Cores من أنتاركتك Antarctic ، ترى المواقع في الإسخال. الحدود بين مناطق الحفريات ترى عند شمال كل قطاع (أوبديك 1968 Obdyke)

### 3.7.5 مغناطيسية الآثار والتغيرات القرنية: Archeomagnetism and Secular Variations

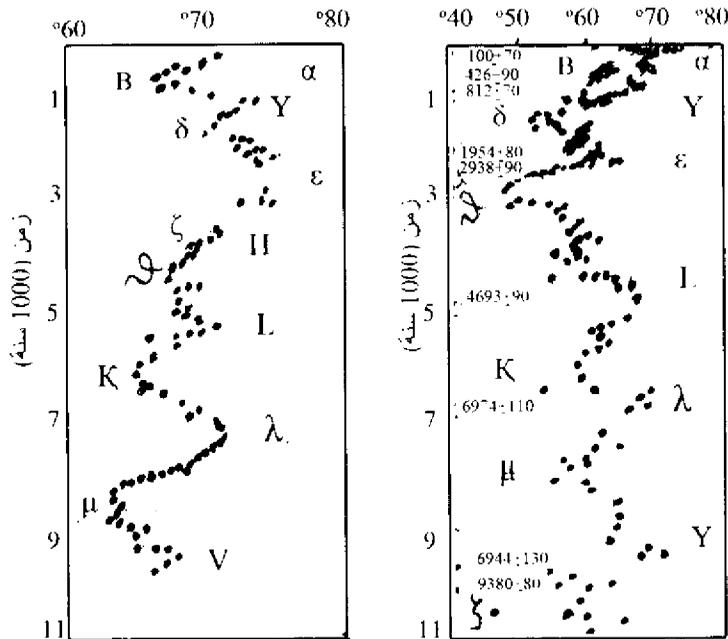
تعود تسجيلات المرصد المغناطيسية إلى 400 سنة، وهذه الفترة من الزمن قصيرة جدا للسماح بتوقع سلوك زمن طويل للمجال المغناطيسي الأرضي. تطبيق التسجيل الممتد بواسطة طرق المغناطيسية القديمة لتأريخ المواد الجيولوجية التاريخية، إلى تسجيل تاريخيا لإنسياب الحمم، وهي نوعا ما أقل دقة لتأريخ رسوبيات رقيقة. غالبا تستخدم قوالب طوب المباني، جصاصة خزف، قراميد، خزف، طين رقيق، إلخ، في امتداد التسجيل لأزمنة التاريخ وما قبل التاريخ، هذه الطريقة فرع من المغناطيسية القديمة ومغناطيسية الآثار حيث نشأ موضوعها على معرفة التغيرات القرنية لمجال المغناطيسية الأرضية لآلاف من السنين مضت. وقدمت عمل دراسات تغيرات قرنية لاتجاه المجال عند أماكن مختلفة لفترات معينة بواسطة باحثين من أوروبا، اليابان، الولايات المتحدة الأمريكية وروسيا. لخص تارلنج Tarling 1983 نتائج حديثة من مصادر مختلفة بسبب نقص نتائج مراجع منحنيات تغير قرني المنشأ لبعض المناطق المحلية فقط. يمكن استخدام هذه المنحنيات كأداة تأريخ في علم الآثار.

يمكن تتبع آثار التغير في الانحراف والميل للمجال الأرضي خلال الأزمنة الحديثة في بحيرات الترسيب والذي يكون معدل ترسبها عادة أسرع من رسوبيات البحار العميقة. وقد أشار تومسون Thomson 1982 إلى أن أغلب التغيرات الحديثة يمكن مقارنتها مع تسجيلات مغناطيسية الآثار، ويمكن أن تمتد التغيرات القديمة نتائج ملائمة لدوران المتغير القرني للمجال الأرضي. توجد الآن تسجيلات تفصيلية ملائمة من بحيرات عديدة في

أوروبا، أمريكا الشمالية وأجزاء أخرى من العالم. بسبب تأثير التغيرات لقوى الترسيب وماقبل الترسيب، يكون هناك غابا صعوبة المقارنة للتأرجح فى الانحراف والميل من بحيرة لأخرى. يمكن استخدام نتائج  $^{14}C$  بدقة كافية، فقط لتسجيلات عينات لوبية قليلة كمؤشرات ملائمة لإتجاه المجال الحقيقى خلال فترات معينة من الزمن. يوضح شكل (29-5) تسجيلات ميل مغناطيسية قديمة لبحيرات ستروكس وكلين St. Crox and Kylene في منيسوتا Minnesota بالولايات المتحدة الأمريكية وبحيرة وندميرر بإنجلترا (U.S.A.  $46^{\circ}N$ ,  $39^{\circ}W$ ) Windermere (England) يوجد بعض التشابه بين طرفى النماذج (الميل، الانحراف) ولكن يوجد طور ناقص فى حدوث الميل الأكبر والأصغر عند الموقعين. سجلت ظاهرة ترقيم  $(\gamma, a)$  مؤخرا فى أمريكا الشمالية أكثر من أوروبا. تشير ظاهرة النقص إلى أن هذا الطور الناقص يدل على أن انحراف التغير القرنى يكون فى إتجاه الغرب. يوجد  $90^{\circ}$  اختلاف خط طول بين المكانين. حسب معدل متوسط إتجاه الانحراف للغرب من اختلافات فى عصر ظواهر الترقيم وقد وجد أنه حوالى  $0.15^{\circ}$  لكل سنة والذى قورن جيدا مع المعين بواسطة خرائط مجال عدم ثنائية القطب التى رسمت لأحقاب مختلفة.

#### 4.7.5 شدة مجال المغناطيسية القديمة Intensity of the Paleomagnetic Field :

درست تغيرات ماضية فى شدة المجال المغناطيسى الأرضى من قياسات مغناطيسية الآثار خاصة فى فرنسا، اليابان، اليونان، وتشيكوفاكيا. العمل التعليلدى فى الشدة القديمة أولا بواسطة تليير 1959 Thellier على طوب محمص وخرف لعصر آثار معلوم، وقد قبلت هذه الطريقة بإتساع كطريقة قياسية. وقد وضعت طريقة تليير



شكل (29-5): تسجيلات تغير قرنى لميل المجال المغناطيسى الأرضى، حصل عليه من نتائج دراسات مغناطيسية قديمة (أ) بحيرة ستروكس وكلية فى منيسوتا، الولايات المتحدة الأمريكية، (ب) بحيرة وندميرر، إنجلترا Windermer England. منمقارنة تلك التسجيلات قدر معدل الانحراف إتجاه الغرب للتغير القرنى بحوالى  $0.15^{\circ}$  لكل سنة.

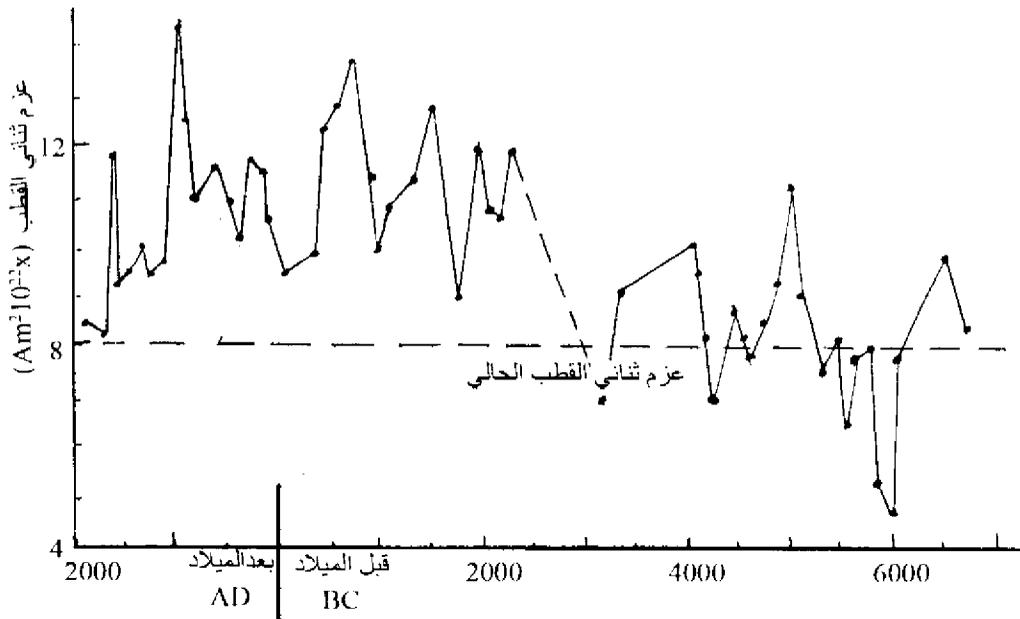
على أساس PTRM شكل (2-5) تكتسب  $T_1$  إلى  $T_2$  PTRM،  $(T_1-T_2)J_L$  حيث تتحمل نسبة ثابتة لـ PTRM،  $(T_1-T_2)J_N$  التى تكتسب فى موقع عند أصل برود الصخر خلال نفس الفترة لاكتسابها تمغنط فى مجال شدة قيمة  $F_A$ . ويمكن بذلك تحديد الشدة القديمة للمجال من العلاقة الآتية:

$$J_N(T_2-T_1)/L(T_2-T_1) = F_A/F_L \quad (5-10)$$

تتطلب طريقة تليبير تكرر التسخين والتبريد والتي تنتهي كل وقت. في السنوات الحديثة، جرب بعض الباحثين بنجاح متغير بعض الطرق المعدلة التي تحتاج تسخين مفرد. لخص بوشا 1970 Busha نتائج الشدة القديمة الأولى، والتي تدل على أن المجال الأرضي نقص في الشدة بواسطة معامل لحوالي 1.5 عبر 2000 سنة الماضية.

تشير تغيرات نتائج شدة المجال الأرضي التي حصل عليها في أوروبا الشرقية والتي وضعت على قياسات آثار المغناطيسية لمواقع (أهداف) تاريخ خلفي إلى 8000 سنة B.P. إلى ظاهرتين مهمتين شكل (5-30):  
(أ) بالرجوع خلفا في الزمن إلى 4000 سنة B.P. اعتبر أن عزم ثنائي القطب الأرضي أكبر من الحاضر.  
(ب) تغير شدة المجال الأرضي يكون نوعا ما معقدا عاكسا تراكب لعدة تغيرات مختلفة.

وقد أشارت دراسات جيمس 1980 Games لمجال مغناطيسية الآثار في مصر مستخدما قوالب طينية مجففة شمسيا إلى تراوح في شدة المجال بواسطة معامل تقريبي 4 بين 2000، 4000 سنة قبل الميلاد.



شكل (5-30): تغيرات في عزم ثنائي القطب الأرضي عبر 8000 سنة مضت مستنتجة من قياسات الشدة القديمة على عينات آثار (كوفاشيفا 1980 Kovacheva)

### 5.7.5 اختبارات المغناطيسية لنظريات الإمتداد: Paleomagnetic Test of the Expansion Hypothesis:

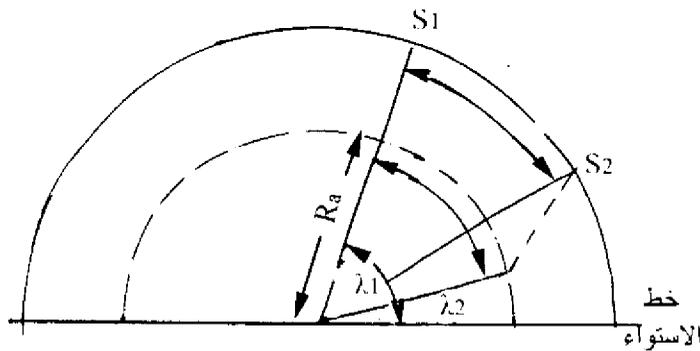
اقترح عدد من المؤلفين (أجيد 1957 Egyed، كاري 1976 Carey، أوين 1976 Owen) أن الأرض تمددت خلال الزمن الجيولوجي. وعامة ضمنت النظريات أن مساحة القارات بقيت حول الثبات وأن أحواض المحيطات نمت مع إمتداد إشعاعي (نصف قطري) للأرض.

يمكن إختبار فرض تغير نصف قطر الأرض بواسطة طريقة المغناطيسية القديمة. إذا لم تزداد القارات في المساحة خلال الإمتداد، فإن المسافة بين أي موقعين على الجزء الثابت لقارة واحدة يبقى نفسه. لهذا، إذا زاد

نصف قطر الأرض، فإن زاوية مركز الأرض بين الموقعين تنقص. بفرض أن مجال الأرض القديم يكون ثنائي القطب، فإن نصف قطر الأرض القديم  $R_a$  شكل (5-31) يمكن إيجاده من الصيغة الآتية:

$$R_a = \frac{\ell}{\lambda_1 - \lambda_2} = \frac{l}{\tan^{-1}\left(\frac{1}{2} \tan I_1\right) - \tan^{-1}\left(\frac{1}{2} \tan I_2\right)} \quad (5-11)$$

حيث  $\ell$  التباعد الحاضر بين دوائر خطوط العرض للموقعين  $S_1$ ،  $S_2$  و  $I_1$ ،  $I_2$  زوايا الميل لإتجاه المجال المتبقى في صخور الزمن المعاصر عند الموقعين.



شكل (5-31): اساس طريقة المغناطيسية القديمة لاختبار فرض تمدد الأرض بزيادة نصف قطر الأرض، فإن زاوية مركزية الأرض بين الموقعين  $S_2$ ،  $S_1$  تقل مع الزمن والتي أمكن ضبطها من تحديد خطوط العرض القديمة  $\lambda_1$ ،  $\lambda_2$  (معدله من مكافهيني 1973 McElhinny)

وقد تم تعيين نصف الأرض القديم بواسطة عدد من العاملين في هذا المجال وارد Ward 1963، فان اندل وهوسيرس (Van Andel and Hospers 1968) ومكليهني وآخرين (McElhinny et al 1978) من نتائج المغناطيسية القديمة للبالوزوى المتأخر والميزوزوى، وقد أظهرت قيم  $R_a$  أنها لا تختلف بأهمية عن نصف القطر الحالي. هذه النتائج لاتتوافق مع معدل الإمتداد السريع لكاري Cary وآخرين ولكن لاتكون كافية الدقة لنقص التقلص الخفيف أو امتداد لنسبة مئوية خلال 400 مليون سنة الأخيرة.