## الفصل الثانى عشر

# تطبيقات جيوفيزيقية لحركات الألواح

# *Geophysics Applied to Plate Tectonics

### 1.12 مقدمة Introduction:

من أواسط القرن العشرين، إزدادت المعرفة حول الظواهر الطبيعية للأرض، خاصة المعرفة حول تركيب وتطور القشرة الأرضية، وذلك نتيجة للاكتشافات الهامة من دراسات مقياس الأعماق، السيزمية، المغناطيسية، الجاذبية والإنسياب الحرارى. وقد أدت هذه الإكتشافات إلى قبول عام لنظرية إزاحة القارات ومهدت الطريقة لسفسطة أكثر ومفهوم ثورى لتباعد الأرضية البحرية (شرحت فى المعناطيسية القديمة سابقا).

الغرض من هذا الفصل، عرض مختصر لدور الإكتشافات الجيوفيزيقية الحديثة فى تحويل مفاهيم لحركات الكرة الأرضية إلى نظرية موحدة لحركات الألواح، والتى أمدت برؤيا قيمة لميكانيكية تطور وإعادة القشرة الأرضية.

### 2.12 العناصر الأساسية لحركات الألواح Basic Elements of Plate Tectonics:

تطور مفهوم حركات الألواح من افتراضات تباعد الأرضية البحرية، بالإشتراك مع فكرة أول إقتراح ولسون J.T. Welson 1965 لنوع حديث "فالق متحول (مضربى الإزاحة)*.

#### 1.2.12 فوالق متحولة (مضربية الإزاحة) Transform Faults:

هذه الفوالق ظاهرة لافتة للنظر فى عدد من الأماكن المقابلة للنتوءات والأخاديد المحيطية حيث تلاحظ على طول مناطق الشقوق والتى رصدت بواسطة مسوحات المغناطيسية فى شرق المحيط الباسيفيكى حيث تشير لمقابلات كبيرة لنموذج شاذة المغناطيسية كما هو واضح فى شكل (12-1) على منطقة شق مندوكينو Mendocino حيث كان أكثر المقابلات كبرا والذى بلغ أكثر من 1000 كم. خاصة وأن هذه المتقابلات أصبحت لغزا يلاحظ وذلك لمصاحبتها لإزاحة قصية كبيرة المقياس تبدو لنهاية قطع مفاجئ على طول امتداده.

* هو الذى على طوله تقف الإزاحة فجاة أو تحول شكلها.

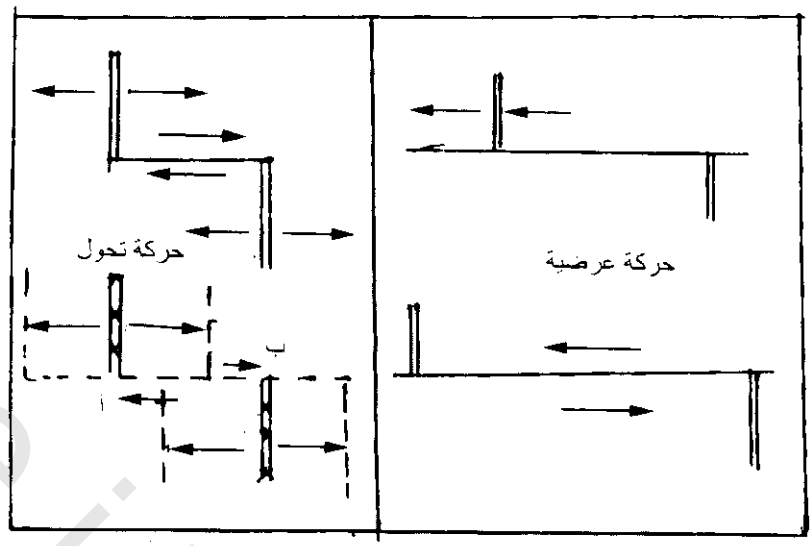


obeikandi.com

**شكل (12-1): خريطة لشذوذ شدة مجال مغناطيسى كلى، الكنتور بالجاما. إزاحات شرائح الشاذات تدل على إزاحة أفقية 153 كم على طول كسر منطقة ميورى (ماسون Mason 1958)**

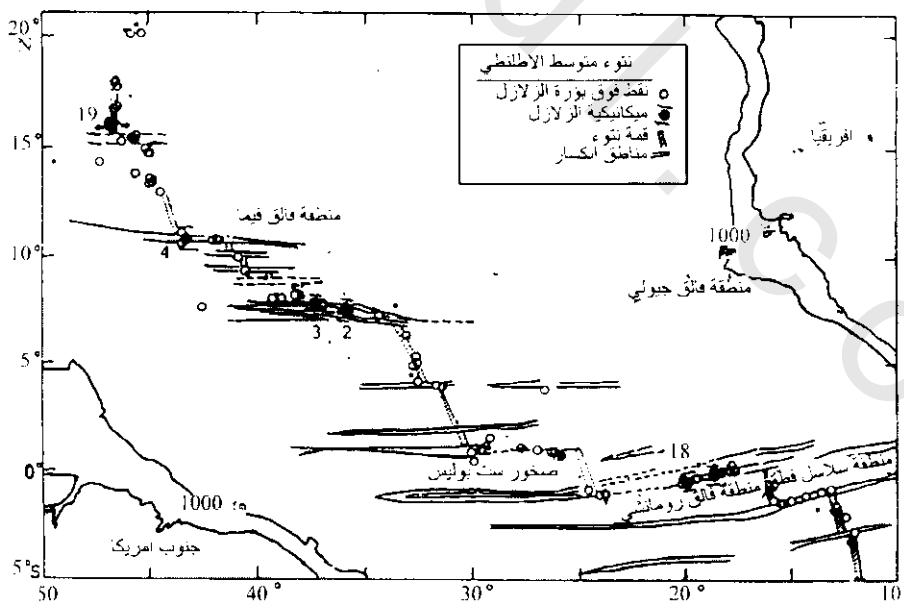
أيضا اقترح ولسون Wilson 1965 توضيح بتوسع بسيط كيف ان فوالق التحول ومضربية الإزاحة، حددت خلال نظرية نطاق تباعد أرض البحر، حيث فرض أن الشقوق التى أزاحت النتوءات المحيطية ووصلت الجزر عبارة عن سلاسل ليست فوالق مستعرضة* (trans current fault) "مضربية الإزاحة لمقياس واسع" ولكن فوالق تحول (مضرب الإزاحة) لبعض خواص مختلفة، ويوضح شكل (12-2) الفرق بينهما. فى الفالق المستعرض، فإن الكتل على جانبى الفالق تتحرك فى إتجاه الأسهم، لهذا، فإن الإزاحة تزداد مع الحركة العرضية كلما كان نشاط الفالق مستمر. فى نتوء-نتوء فالق التحول (مضربى الإزاحة) تكون الإزاحة نشطة فقط فى القطع الواقع بين النتوءات، وتبقى الإزاحة ثابتة وتكون إتجاه الحركة عكس المتوقعة بواسطة الحركة العرضية. تكون فوالق نتوء-نتوء التحول (مضربى الإزاحة) أكثر الأنواع شيوعا ولكن فوالق التحول (مضربية الإزاحة) يمكن أن توجد أيضا بين نتوء وأخدود أو بين أخدودين.

* فالق مضربى الإزاحة لمقياس واسع والذى فيه يميل سطح الفالق (دفع مستعرض) بشدة




**شكل (12-2): الفرق بين نتوء-نموذج نتوء فالق (يسار) وفالق عرضى (يمين). تزيد الإزاحة مع الحركة العرضية بينما تبقى ثابتة مع حركة التحول. يستدل على قمة النتوء بواسطة قضبان متوازية**

أتى دليل مؤيد لنظرية فالق التحول (مضربى الإزاحة) من علم الزلازل فى طريقتين. **الأولى**، تصاحب فقط فوق البؤرة الزلزالية مع نظام نتوء منتصف المحيط تكون محاذية على قمم النتوءات وعلى أجزاء من مناطق التشقق تبعا للقطع أب، ليس خارج أب شكل (12-2). **الثانى**، من دراسة الحركة الأولى للزلازل على طول مناطق التشقق، يوجد إتجاه الحركة الأولى ليبرر ماذا يمكن توقعه على أساس تفلق تحولى (مضربى الإزاحة) مثال ذلك يوضح شكل (12-3) جزء من منتصف نتوء الأطلنطى، حيث ترى مواقع نقط فوق البؤرة وإتجاه الإنزلاق المعطى بواسطة دراسة الحركة الأولى للزلازل على قطاعات منطقة تشقق مستعرضة، وتكون جميع الزلازل على نظام نتوء-شق بؤر زلزالية ضحلة والتى يمكن توقعها بواسطة عملية تباعد أرضية البحار.




**شكل (12-3): مواقع فوق البؤرة (دوائر مفتوحة) على طول الجزء الاستوائى لنتوء منتصف الأطلنطى. ترى محطات ميكانيكية البؤرة لست زلازل (الدوائر السوداء 1، 2، 3، 4، 18، 19) على مناطق الإنكسار (شرق –غرب). تشير الأسهم لإزاحة قصية ومضرب مستوى إستدلال الفالق علاوة على كل من هذه الميكانيكية (سيكس Sykes 1968)**

### 2.2.12 مفهوم الألواح والحركة النسبية The Concept of Plates and Relative Motion:

عمل أربع علماء ماكنز وباركر McKenzie and Parker 1967، مورجان Morgan 1968 ولى بيكون Le Pichon 1968 على قبول الصياغة النظرية وتطور مفهوم حركات الألواح.

الفكرة الأساسية هى أن طبقة سطح الأرض الصلبة (ليثوسفير) تقاس من تحطيم قوى فقط نسبيا على طول خط تحرك الأحزمة الضيق. هذه الأحزمة المكونة من نتوءات وأخاديد والمترابطة بالفوالق المتحولة (مضربية الإزاحة) تقسم المحيط القارى (ليثوسفير) إلى عدد من الطبقات الصلبة، كتل زلزالية "ألواح" والتى لاتعانى تحطيم داخلى كبير، تكون الحركة النسبية بين الألواح ذات أهمية خاصة، كما أن هذه الحركة هى السبب الرئيسى لنشاط تكتونية الأرض، وهناك ثلاث أنواع ممكنة من حواف الألواح:

(i) إنشاء أو تباعد الإتصالات، حيث تتكون قشرة أرضية جديدة كألواح متحركة متباعدة (قمم منتصف المحيط).

(ii) هدم أو تقارب الإتصالات، حيث تتقلص القشرة (أحزمة ثنيات جبلية جديدة) كألواح يقترب كل للآخر، أو استهلاك لوح يدفع تحت الآخر (أخاديد محيطية).

(iii) محافظة أو إتصالات قصية (أو فوالق متحولة (مضربين الإزاحة))، حيث تنزلق الألواح أفقيا سالفة كل للآخر، وتحفظ القشرة.

تستخدم هندسة حركة اللوح على الكرة الأرضية كالآتى: إذا تحركت كتلتان بعيدان عن بعضهما، فيمكن وصف حركتهما النسبية كدوران أحداهما بالنسبة للأخرى، أو دوران الكتلتين فى إتجاه معاكس. ربما يتأكد قطب التباعد أو الدوران (لاتكون مختلطة أو مضطربة مع قطب الدوران الداخلى للأرض) تبعا لحركة فتح نتوء المحيط فى طريقتين.

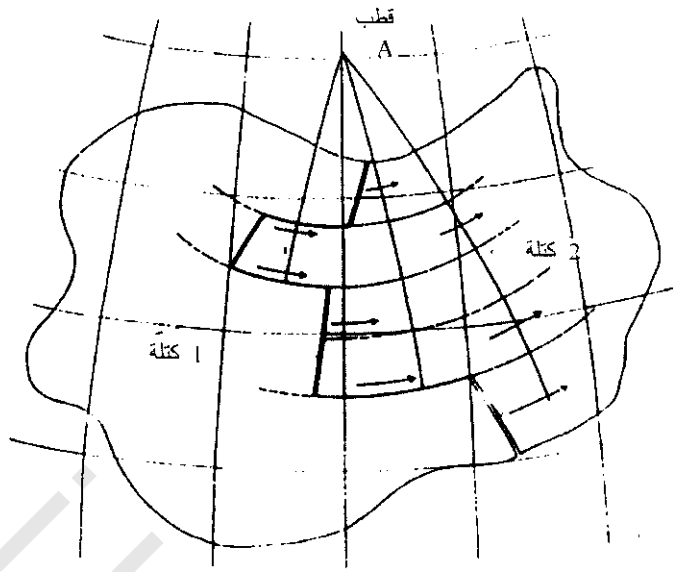
(i) حيث أن فوالق التحول (مضرين الإزاحة) التى قطعت النتوء تمثل إتجاه التباعد من محور النتوء، فإن مثل هذه الفوالق يجب أن تقع على دوائر خطوط عرضية صغيرة من مركز قطب التباعد A شكل (12-4). من وجهة أخرى، الدوائر الكبيرة المتعامدة على فوالق مضربية التحول يجب تقاطعها عند قطب التباعد.

(ii) معدل التباعد (سرعة الحركة النسبية) عند النقطة على طول النتوء تتغير طالما جيب تمام الزاوية لخط العرض $\lambda$ تتناسب لقطب التباعد A، وبذلك يكون معدل التباعد صفر عند A (حيث $\lambda = 90^\circ$) وعظمى عند مكان النتوء التى تقطع خط الإستواء المرسوم حول القطب A.

بينما يحدد معدل التباعد من تحديد أزمنة الإنعكاسات المغناطيسية (كرونولوجى) المعروفة جيدا، فإن مراكز الدوران تحدد بواسطة إحدى الطريقتين السابقتين المتوافقتين تقريبا جيدا (جدول 12-1). وقد وجد أن معدل دوران زوايا الكتل فى هذه الطريقة تكون من رتبة $1^\circ$ أو أقل لكل مليون سنة.

### 3.2.12 ألواح سطح الأرض الكبيرة Major Plates of the Earthís Surface:

لمواجهة نشاط تكتونية الكرة الأرضية قسم لى بيكون Le Pichon 1968 سطح الارض إلى ستة ألواح كبيرة والتى يوجد بينها تأثيرات، وذلك من نظام سيزمية الأحزمة النشطة المحيطة بالعالم كما فى شكل (12-5). بعد ذلك ذكر أثنى عشر لوحا بعد إضافة 6 ألواح إضافية لنموذج مورجان Morgan 1971. يلاحظ التوافق القريب لحدود الألواح مع توزيع نقط المركز الزلزالية. يرى فى شكل (2-26) اتجاهات الحركات النسبية عند



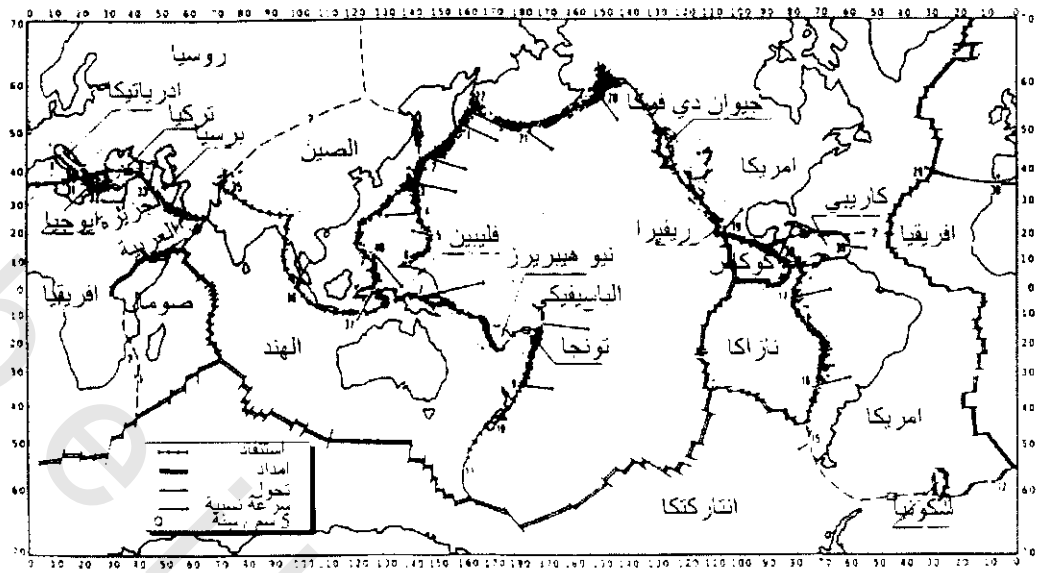

**شكل (12-4): علاقات هندسية ترى دوران الواح النتوءات حول (قطب التباعد) (مورجان Morgan 1968)**

**جدول (12-1). أقطاب لحظية ومعدلات دوران بين أزواج مختلفة من ألواح متجاورة محددة بواسطة (لى بيكون Le Pickon 1968) لنماذج ستة ألواح*.**

| الزوج اللوحى والمعاملات المستخدمة | خط عرض | خط طول | معدل الدوران ($10^{-7}$ درجة/سنة) |
|---|---|---|---|
| جنوب الأطلنطى (أمريكا – أفريقيا) خط مضرب لـ 18 منطقة تشققات 9 معدلات تباعد | 58 شمال<br>69 شمال | 37 غرب<br>32 غرب | 3.7 |
| شمال الباسيفيكى (أمريكا – باسيفيك) خط مضرب لـ 32 منطقة تشققات | 35 شمال | 47 غرب | 6.0 |
| المحيط الهندى (أفريقيا – الهند) خط مضرب لـ 5 مناطق تشققات | 26 شمال | 21 شرق | 4.0 |
| المحيط الأركنتيكى (أمريكا – إيوراسيا) خط مضرب لـ 4 مناطق تشققات | 78 شمال | 102 شرق | 2.8 |
| جنوب الباسيفيكى (انتراكيا – ساسيفيك) خط مضرب لـ 6 مناطق تشققات 11 معدل تباع | 70 شمال<br>68 جنوب | 118 شرق<br>123 شرق | 10.8 |

يرى فى شكل (2-26) اتجاهات الحركات النسبية عند نقط قليلة. يقع معدل الحركات النسبية بين 1، 10 سم/سنة، ولذلك تعطى معدل تباعد من 0.5-5 سم/سنة لكل جانب نتوء. بواسطة معدل التباعد، يعرف نصف معدل التباعد للوحين، ويفرض أن التباعد له تماثل جانبى والذى أويد بواسطة تسجيلات تباعد أرضية المحيط.

* القيم المصححة لأقطاب الدوران ومعدلات الدوران موضوعة على أساس نماذج إثنى عشر لوحا المعطاه




**شكل (12-5): نموذج كاتيماتيكى للوح إتساع العالم الحاضر. تشير النقط الصغيرة لنقط فوق البؤرة الزلزالية ، والخطوط المحيطية غير السوية للحواف الحاضرة لحركة الألواح. بالإضافة لست الألواح الكبيرة (أفريقيا – أمريكا – الباسيفك – انتاركتكا – الهند – أيورسيا) المستخدمة بواسطة لى بيكون Le Pichon 1968 ، سميت عدد من الألواح الصغيرة بواسطة مورجان Morgan 1971. تبقى حواف الألواح الصغيرة خارج العمل فى بعض المناطق المعقدة. ترى متجهات حركات مختلفة عند نقط مختارة (لى بيكون وآخرين Le Pichon et al 1973)**

### 4.2.12 دلائل سيزمية لنموذج لوح ليثوسفيرى (المحيط اليابس)

**Seismic Evidence for the Lithosphere Plate Model:**

أمدت السيزمولوجية تعضيد مقنع لتوطيد تباعد أرضية البحر وحركات الألواح. فى الحقيقة، كما برهن من شكلى (2-26)، (12-5) قصور حدوث الزلازل غالبا على حواف الألواح المفترضة حيث تحدث الحركات النسبية. حدد أساكس وآخرين Isacks et la 1968 اتجاهات متجهات الإنزلاق من دراسة الحركة الأولى لبؤر زلزالية ضحلة على طول نشاط أحزمة زلزالية. تبعا لملاحظة جيدة مع حركة الإتجاهات لشكل (12-5) استخرجت الإتجاهات التى حددها أساكس وآخرين Isackes et al بواسطة لى بيكون وآخرين LePichon et al من إتجاهات المناطق المشققة ومتجهات لحركات متباينة.

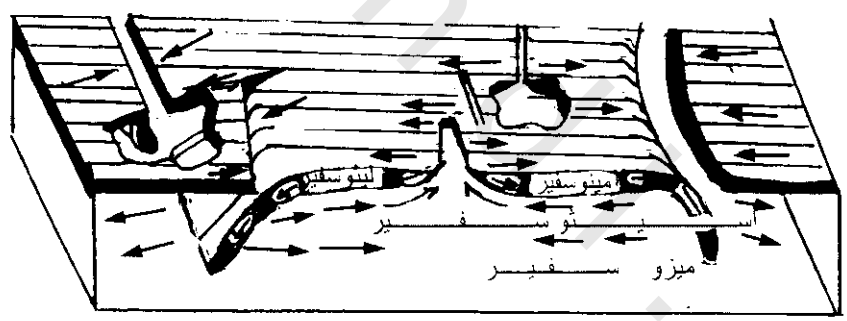
قدمت الدراسات السيزمولوجية أحسن الأدلة لسمك الألواح، حيث تعتمد سرعة الموجات السيزمية على الكثافة وخواص المرونة للصخور التى تمر بها. تتميز الطبقة الصلبة بالسرعة العالية والنقل الكافى للموجات السيزمية، أما فى الطبقة الضعيفة أو اللينية، فإن السرعة القصية تأخذ قيمة منخفضة وتضعف الموجات السيزمية بشدة. ويجب التذكر بأن سرعة الموجات القصية تبدأ فى الإقلال تحت سطح حوالى 70 كم تحت المحيطات وحوالى 120 كم أو كثر تحت القارات شكل (2-20). هذا أدى للإقتراح بأن الطبقة الصلبة الخارجية سمكها حوالى 70-120 كم (ليثوسفير lithosphere)* تقع فوق طبقة أضعف وأسخن (أثينوسفير Asthenosphere)** والمحتمل تكوينها للألواح.

* المحيط اليابس (القشرة الأرضية).
** نطاق الإنسياب الذى يلى القشرة الأرضية (الغلاف المائع)

عند أى معدل تدل هذه الأشكال على أن الألواح رفيعة بالمقارنة لأبعادها الأفقية. مثل هذه الألواح يجب أن تكون أسفل امتداد طبقى لين وقابل للسحب والتطريق إذا تحركت بدون تمزق أو انفصال.

يوضح شكل (12-6) شكل هندسى تخطيطى كتلى للظواهر الأساسية لحركة الألواح، حيث يرى هذا الشكل الهندسى حركة الألواح بعيدا عن نتوءات منتصف المحيط وتتجه أسفل الأرثينوسفير عند الجزر القوسية. أمد البرهان المعضد لانحدار ألواح الليثوسفير بواسطة حدوث بؤرات زلزالية عميقة على طول نطاق بنوف Benioff المائل شكل (2-27). يرى الإنسياب العائد المعادل لحركة الإتجاه السفلى لليثوسفير فى الأسثينوسفير بإرتفاع عند قمم النتوءات. الآن، من الإنسب أن مصطلحات "الأنحراف القارى" تباعد قاع المحيطات تكون غير ملائمة فى الألواح النموذجية المفردة الشاملة لكلا من القشرة المحيطية والقارية، بالرغم أن قليل منها يكون كلية محيطيا.

حيث أن سمك القشرة المحيطية حوالى 35 كم، بينما سمك الألواح حوالى 100 كم أو أكثر، لذلك تمتطى القارات كمسافرة على الألواح. تجيب هذه الحقيقة على أحد الإعتراضات التقليدية للإنحراف القارى، التى تسمى، الصعوبة الميكانيكية لطريقة حرث القارة عبر نتوء أرضية المحيط الصلبة. تتحرك القارات والمحيطات تبعا لوجهة نظر حركة الألواح كأجزاء بنفس صلابة الألواح. مع ذلك تفرض ضوابط هامة معينة على حركة الألواح للقارات والمحيطات غير المتشابهة. تدل الحدود الضيقة المعرفة بالأخاديد ومناطق الزلازل المائلة المنحدرة بعيدا عن الأخاديد على أن القشرة المحيطية تبدد بسهولة بواسطة السحب، ربما بسبب رفعها نسبيا وكثافتها




**شكل (12-6): شكل هندسى كتلى يوضح تخطيطيا ترتيب شكل ودور الليثوسفير (طبقة شد) فىترجمة التكتونية العالمية الحديثة. تدل الأسهم أعلى الليثوسفير على الحركات النسبية للكتل المتجاورة. وتمثل الأسهم فى الأسثينوسفير الإنسياب المتعادل المحتمل فى تجاوب لحركة الإتجاه السفلية لقطع الليثوسفير (أساكس وآخرين Isacks et al 1968)**

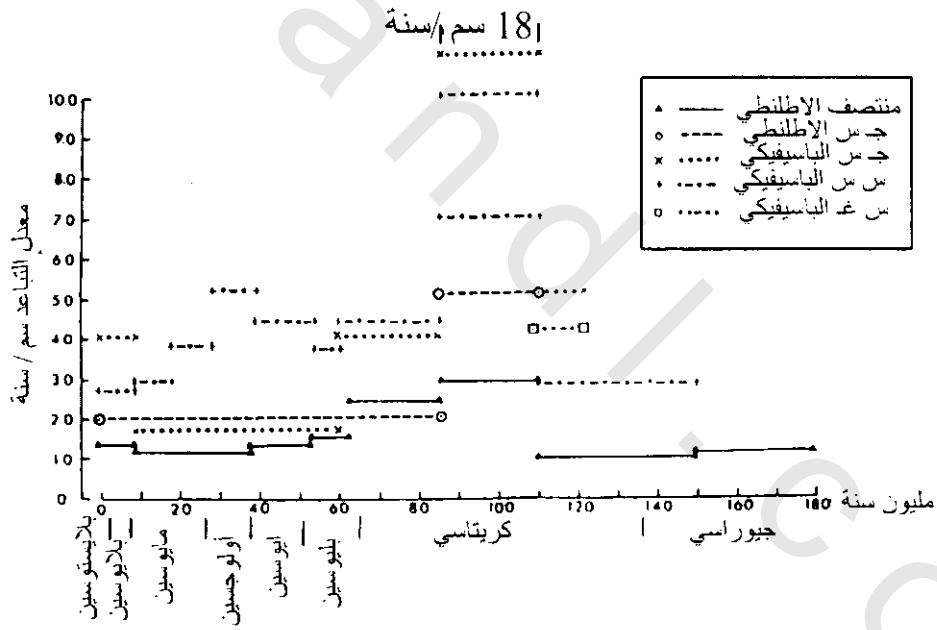
العالية. من وجهة أخرى، تظهر مناطق داخلية القارات السيزمية المصاحبة مع سلاسل الجبال تحطم تضاغطى عبر مساحات شاسعة، والتى فيها ضمنيا تكون القشرة القارية صلبة للاستنفاذ لأنها سميكة نسبيا وخفيفة.

### 5.2.12 إعادة بناء الألواح القديمة Paleophate Reconstructions:

إبتداء من البيانات الحاضرة عن معدل دوران الأقطاب، يكون من الممكن الرجوع لخلفية الزمن الجيولوجى للإشارة لأماكن الألواح النسبية. أمتداد هذه الخلفية موضوع غالبا على أساس معدل الحسابات واتجاهات الأبعاد التى حصل عليها بواسطة تحليل أشكال شاذات المغناطيسية المرصودة للزمن القديم فى محيطات مختلفة (شكل 12-7).

يرى شكل (12-8) مثال إعادة مثل هذا البناء لفتحة شمال الأطلنطى. تشير الأسهم لإتجاهات حركة قارتى أفريقيا وأوربا النسبية بالنسبة لأمريكا الشمالية. من الواضح من خطوط الإنسياب لدوران أقطاب أوربا-أمريكا الشمالية وأفريقيا-أمريكا الشمالية مختلفة. كذلك يلاحظ أن التغيرات فى إتجاه التباعد يبدو حدوثه منذ حوالى 60، 80 مليون سنة. تشير الخطوط المشرطة لأمن ذو بال: 1) تباعد أفريقا وشمال أمريكا غالبا بين 80-180 مليون سنة، بعد ذلك مثل معدل التباعد، 2) تباعد أوربا عن أمريكا الشمالية غالبا فى آخر 80 مليون سنة وتشمل مرحلتى حركة الجرين لاند Green land (الأسهم المزدوجة شكل 12-8). عامة، توافقت إعادة الحركة جيدا مع الملائمة الهندسية للقارات عبر الأتلانتك شكل (12-9).

وحيث أن تسجيل الشاذة المغناطيسية لتباعد أرضية المحيط ترجع خلفيا لأزمنة الجوراس فقط (~160 مليون سنة)، لذلك لايمكن إستخدام تباعد أرضية المحيط لإعادة بناء تأرخ لوحى متقدم. ولكن إذا أريد تأرخ لوحى متقدم، يعاد لفترات متقدمة موضوعة أساسا على مطابقة أقطاب المغناطيسية القديمة وتجمعات صخرية معينة (تجمعات بداية تكتونية) التى تميز الحدود أو تركيبات داخلية لنوعية اللوح المراد تأرخه. وهذا يؤدى لأخذ فكرة بسيطة عن أن أحزمة جبال عديدة لها مناطق من أوفيوليت Ophiolite معقدة والتى فسرت على أنها تمثل




**شكل (12-7): معدل التباعد فى المحيط الأطلنطى والباسيفيكى حصل عليه من تحليلات خطوط شاذات المغناطيسية. يلاحظ زيادة علامة معدل التباعد لجميع الأنظمة عند 85-110 مليون سنة قبل الميلاد (لارسون وبتمان Larson and Pitman 1972) مع مراجعة مقياس الزمن لهرتزلير وآخرين Heirtzler et al 1968، هذه المعدلات روجعت أيضا فى السنين الحديثة**

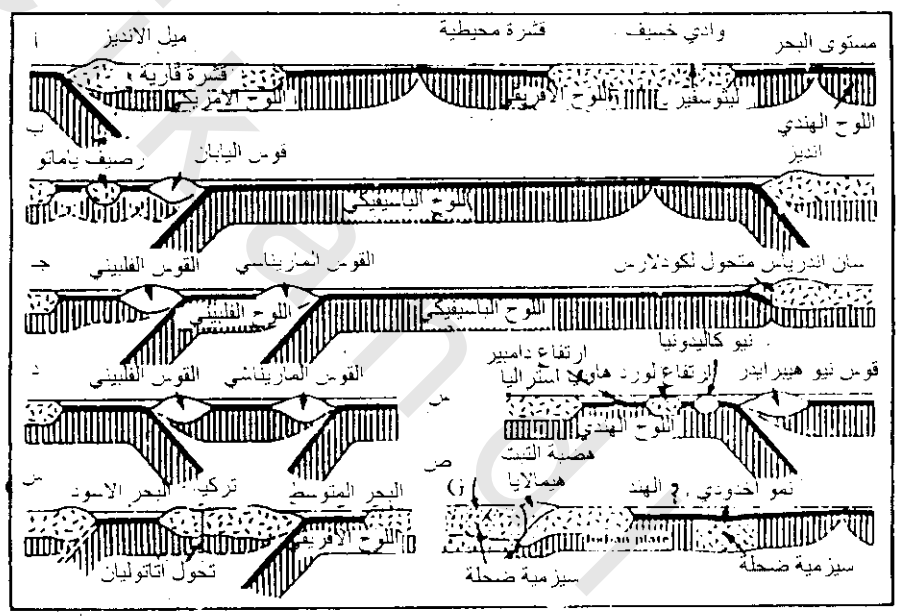
شكل (12-8): إعادة تركيب تباعد أرضية المحيط لشمال المحيط الأطلنطى (بتمان وتلوانى pitman and Talwani 1972) تمثل القارات السوداء الأماكن الحاضرة، تدل الأماكن الأولية بواسطة أزمنة بمليون من السنوات ترى الأسهم الطويلة مرحلتين لحركة الجرينلاند

شكل (12-9): تلاؤم القارات حول الأطلنطى حصل عليها بواسطة تناسب المربعات الدنيا عند خط عمق 500 قياس بحرى (القياس البحرى Fathom = 6 قدم = 1.982 متر) تمثل المساحات الغامقة تناسب خاطئ (بيولارد وآخرين Bullard et al 1965)

قطع من القشرة المحيطية القديمة والستار العلوى والمعروف وضعها التكتونى. وإذا كان كذلك، فإن مناطق الأوليوليت القديم تشير لمناطق اختفاء أرضية المحيط، مثل التى فى نطاق الألب Alpine – هيمالايا Himalyayan. لذلك يظن أن جبال اليورال Ural تكونت بواسطة خط الباليوزوى المتأخر القريب بين أوربا وسيبريا، ومنطقة طيه أبلاشيان Applachian – كالدونيان Caledonian بواسطة التقارب للأطلنطى القديم.

### 6.2.12 نماذج تكتونية ألواح نشوء الجبال Plate Tectonic Models of Orogeny:

فى العشرات السنين الأخيرة وجهت مجهودات كثيرة لإتجاه تطبيقات تكتونية الألواح لتوضيح دورات نشوء الجبال التى أدت لتكوين أحزمة جبالية مختلفة. أقترح ديوى وبرد Dewey & Bird 1970 إمكانية أربع أنواع من تفاعل بين حواف القارات والمحيطات. يعطى شكل (12-10) أمثلة حاضرة اليوم لكل من هذه الحالات الأربعة:




**شكل (12-10): قطاع تخطيطى يرى بعض العلاقات المفروضة بين المحيطات، جزر قوسيه والقارات عبر مناطق مسحوبة (ديوى وبرد Dewey and Bird 1970)**

i- تصادم أرضية محيطية مع قارة Ocean floor-continent collision: تكون بهذا التصادم حزام جبل كوردلران (أنديز) Cordilleran (Andes) بواسطة دفع سفلى من لوح الباسيفيك الشرقى (نازكا Zazca) أسفل اللوح الجنوبى الأمريكى (أ، ب). توضح إزدواجية نظام السحب فى الباسيفيك الغربى (جـ، د) استهلاك اللوح الفيليبينى تحت الحافة اليورسياويه Eursian.

ii- تصادم أرضية محيطية مع جزيرة قوسيه Ocean floor-isoland arc collision: على طول حافتها الغربية فإن اللوح الباسيفيكى يهبط أسفل قوس اليابان (ب).

iii- تصادم قارى مع جزيرة قوسية Continent island arc collision: يمثل هذا اقتراب القارة الاسترالية (جزء من اللوح الهندى) من نطاق هبوط هبردس الحديث New Hebrides).

iv- تصادم قارى –قارى Continent-continent collision: يمثل هذا الدفع السفلى للوح الأفريقى اسفل تركيا، أناتوليا Turkey Anatolia (س) وتصادم اللوح الهندى مع الأيورسياوى لتكون جبال الهمالايا وهضبة التبت (ص) برغم أن كثير من التفصيلات باقية خارج العمل، فإن القطاع التخطيطى شكل -10) (12 يعطى إدراك للعمليات الأصلية التى حدثت عند حواف الألواح.

### 7.2.12 نشوء الجبال بواسطة تجمع لوحى دقيق: Orogenesis by Microplate Accretion

عرف الجيولوجيين لسنوات وجود كثير من أجسام دخيلة (غريبة) فى تجمعات كتلية فى حزام جبال الألب-هيمالايا Alpine-Himalaya حديثا، عرفت أيضا أعداد كبيرة من أجسام دخيلة فى أحزمة جبال حول الباسيفيكى (Circum Pacific). يتوقع أولا أن هذه الأجسام (عامة تشير كأنها تربة) تكونت عندما كانت الحفريات أو تجمعات الصخور مختلفة الدلالة عن المناطق المجاورة.

يعتبر شمال غرب أمريكا حزام تراكمى هائل من الترب (كونى وآخرين Coney et al 1980)، (جونيز وآخرين Jones et al 1982)، حيث انتقلت كثير من الترب عبر مسافات كبيرة قبل إتمام شكلها الحاضر. تم تقدير حركتها العرضية ودوراتها خلال وبعد التصادم من قياسات المغناطيسية القديمة. تربة ورانجيليا (Warangellia) مثال خاص لافت للنظر. ترى الصخور التى حصل عليها من جزيرة فانكوفر Vancouvar فى كولومبيا البريطانية بكندا British Columbia-Canada ومن جبال ورانجيليا – ألاسكا Wrangellia-Alaska أن عينات صخور كلا الموقعين (مفصولين الآن بحوالى 555 كم) تكونا أصلا بالقرب من خط الإستواء فى زمن الترياسى.

إقترح شامبيرليا ولامبرت Chamberlain and Lambert 1985، على أساس القياسات الحديثة للمغناطيسية القديمة ودلائل الجيولوجيا الحقيلة لعلاقة الترب الدخيلة فى غرب كورديلليرا الكندى (Candian Cordillera)، وجود قارة دقيقة كورديلليرا (Cordillera) والتى تصادمت مع راسخ* أمريكا الشمالية منذ حوالى 100 مليون سنة لتكون أولا جبال ماكينزى Mackenzie ثم جبال روكى Rockies.

فى المقابل بغرب أمريكا الشمالية، يعتقد بواسطة كثيرين أن عدد كبير من تجمعات أرضية فى سلسلة الألب-هيمالايا Alpine-Himalya كانت فتاتات والتى جاءت من بداية قارة جوندوانا Gondwana (جيلى Gealy 1977، ليث Leith 1982). إنفصال أشياء كثيرة من جندوانا (Gondwana) والتصادم مع طول كتلة أرضية ايروسيان (Euroasian) قبل الكسر، أدى هذا لتكوين الهند، استراليا، أفريقيا وأمريكا الجنوبية. فى كل مكان تام لسلسلة الألب. هيمالايا، يوجد ترب قارية عديدة، تتراوح فى الحجم من شبه قارية كالهند إلى قطع صغيرة كما فى تركيا والبلقان (Bulkans) وإيطاليا.

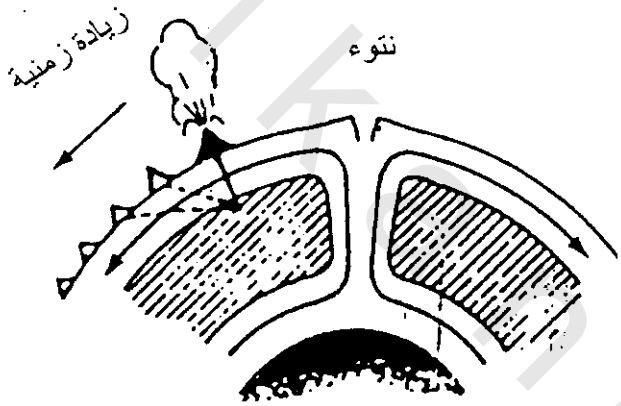
### 8.2.12 البقع الحارة وحركات الألواح المطلقة: Hot Spots and Absolute Plate Motions

فسرت نظرية تكتونية الألواح موقع ومسبب أغلب الزلازل والبراكين، ونشاط بناية الجبال، جميعهم مصاحبين مع حواف الألواح. ربما، يوجد عدة إستثناءات لافتة للنظر مثل حدوث أنشطة تكتونية بعيدة عن

* جزء من القشرة الأرضية يشمل أجزاء قارية ومحيطية.

حواف الألواح. المثال الملاحظ هو سلسلة جزر هاوى Hawaiian حيث حلق الإمتداد البركانى سلسلة جبال بالقرب من مركز أحد أكبر الألواح. يمكن حدوث مثل هذه الظاهرة "منتصف اللوح" أيضا فى مناطق قارية، كدلالة بواسطة الأحواض القارية ونطاقات نشاط زلزالى. مثال ذلك، يوجد فى الولايات المتحدة نطاق زلزالى كبير مركز بالقرب من نيومادريد New Madrid ربما، تعتبر هذه وظواهر أخرى تقريبا تناسب صغير للنشاط التكتونى الأرضى (الكرة الأرضية) ولكن لايكون بواسطة معانى لايعتد بها وتكون من الصعوبة استبعادها كمحليا.

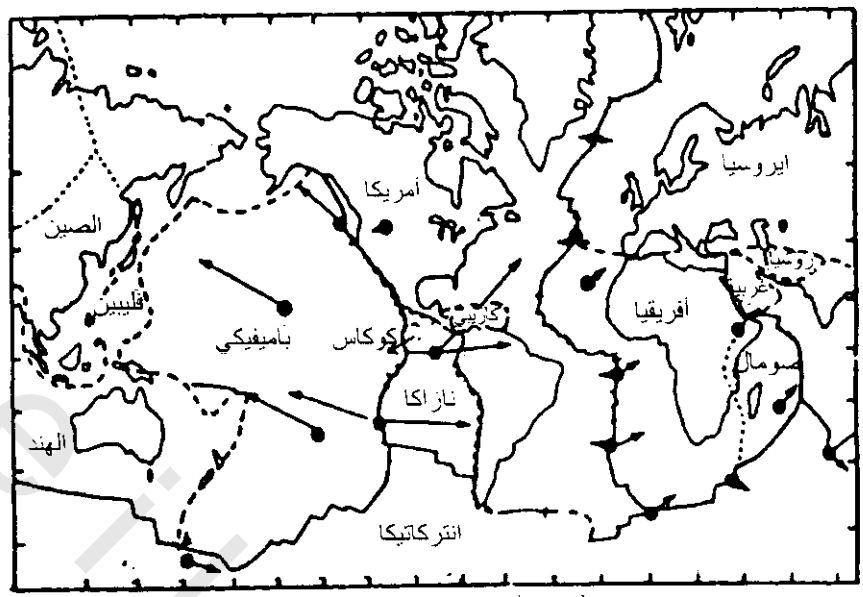
أعزى ولسون 1963 Wilson جزر هاواى البركانية لارتفاع من الماجما من بقعة حارة ثابتة تقريبا فى الستار العلوى. وأدت حركة إتجاه الغرب من لوح الباسيفيكى عبر مصدر الماجما فى تكوين سلسلة الجزر والتى أصبحت تقريبا أقدم من الشرق للغرب




**شكل (12-11): مخطط لنموذج لتركيب جزء سلسلة هاواى بواسطة حركة لوح عبر منطقة مستقرة حراريا (ويلسون Wilson 1963)**

فى الحقيقة، إذا كان مصدر الماجما ثابت (بالنسبة لصلابة وعمق الستار)، فإن طول وعمر سلسلة الجزر يجب أن تعطى الحركة المطلقة للوح. عندما تحدث مثل هذه البقعة الحارة تكون على نتوء تباعد نشط، مثل أيسلاند Iceland، وهى سلسلة جزر بركانية أو جبال بحرية تكونت على كلا جانبى النتوء بسبب الحركة الجانبية للألواح كل عن الآخر.

فيما بعد طور مورجان 1972 Morgan اساس استخدام هذه البقع كمرجع إطار عالمى ووضح أن السرعات (المطلقة) لحركات الألواح خلال السينوزوى تحدد كما فى شكل (12-12). هذه الحركات المطلقة تكون فى تبعية مع الحركات النسبية الكافية بين الألواح الكبيرة، وخلال حالة الحدود المتقاربة التى فيها تكون البقع الساخنة المفترضة ثابتة بالنسبة كل للآخر وإلى الستار. تبعا لولسون 1973 Wilson، فإن أعداد كبيرة من البقع الحارة ميزت بواسطة البركانية، إنسياب حرارى كبير، تقبب (نتوء قشرية أرضية وتعبيرات سطحية لمتغيرات أشكال ريشية مرتفعة فى الستار. أخذ مرجان Morgan هذه الفكرة كخطوة مساعدة مع تمعنه بأن البقع الساخنة حفظت بواسطة نوعا من التفجير المحلى لمواد التسار فى أشكال ريشية ومن الممكن أن تمد حرارة الحمل الريشية القوة البدائية لحركة الألواح.



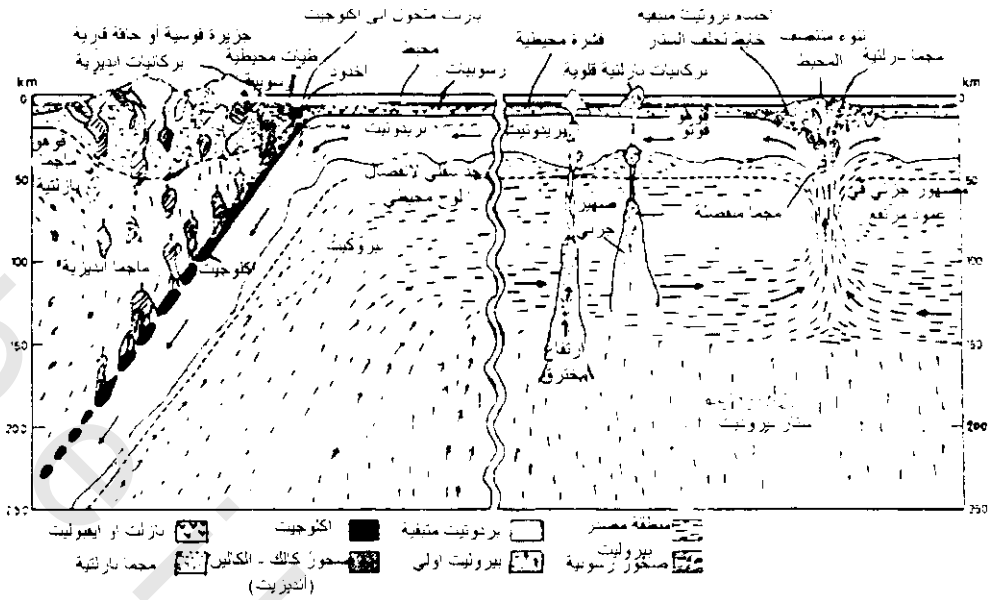

**شكل (12-12): حركات حاضرة للألواح الكبيرة عبر إطار مناطق حرارية ثابتة (مورجان Morgan 1972)**

### 9.2.12 دفع ميكانيكيات حركة الألواح Driving Mechanisms for Plate Motions:

يستمر السبب الأساسى لحركة الألواح باق كموضوع تأمل برغم الدلالات الكبيرة فى مجال تكتونية الألواح. عامة، عندما يوجد وفرة من البيانات فى بحث النظرية، فإن هذا يؤدى لتقدم الإفتراضات.عموما. اقترح نوعين من القوة، 1) قوى الحواف المؤثرة عند حواف اللوح، 2) القوى الأساسية المؤثرة عند داخل قاعدة اللوح. يشمل النوع الأول تاثير قوة دفع نطاقات التباعد حيث تدفع الألواح على حدة بواسطة أندساس مواد جديدة، وقوة سحب الصفيحة فى نطاقات السحب حيث يسحب التكاثف النسبى الصفحى السفلى اللوح خلفه شكل (12-13). يكون النوع الثانى من القوة هى الإجهاد بواسطة تيارات الحمل اسفل القشرة الأرضية.

توجد دلالة هامة من الجاذبية والزلزالية حول الدفع بواسطة ضغط النتوء عند نتوءات متوسطات المحيطات وبواسطة سحب صفائحى عند الأخاديد العميقة، ولكن هذه الدلالة تعتبر مقارنة قليلة المعرفة حول القوى الأساسية المصاحبة مع تيارات الحمل فى الستار العلوى. إذا تحركت تيارات حمل الستار أسرع من اللوح الذى يعلوها، عندئذ سوف يؤثر سحب جهد اللزوجة بواسطة حركة الستار السريعة لدفع حركة اللوح. فى المقابل إذا تحرك اللوح أسرع من الستار سيؤثر سحب اللزوجة المسبب بواسطة اختلاف الحركة لمقاومة حركة اللوح. ظاهريا، لايوجد نقصان لقوى الضغط الممكنة، ولكن يكون الشئ المحير للمشكلة. أى من القوى الفوقية (الزائدة) تكون أكثر سيادة من الأخريات؟

النموذج البسيط من تيارات الحمل الحرارية داخل الستار (10-5) تكون مع نزوح القارات أو أرضية المحيط إزدواج مباشر لجوانب الطيات العلوية لحجيرات تيارات الحمل تحتها، ويكون التوافق صعبا مع ملاحظة نموذج لحركات الألواح الحالية. مثال ذلك، يكون من الصعب مواجهة كيفية كلا من إرتفاع وهبوط جوانب تيارات الحمل، التى تزاح فجأة بواسطة فوالق متغيرة (متحولة). الشكل الهندسى للنتوء-نتوءات فوالق التحول فى

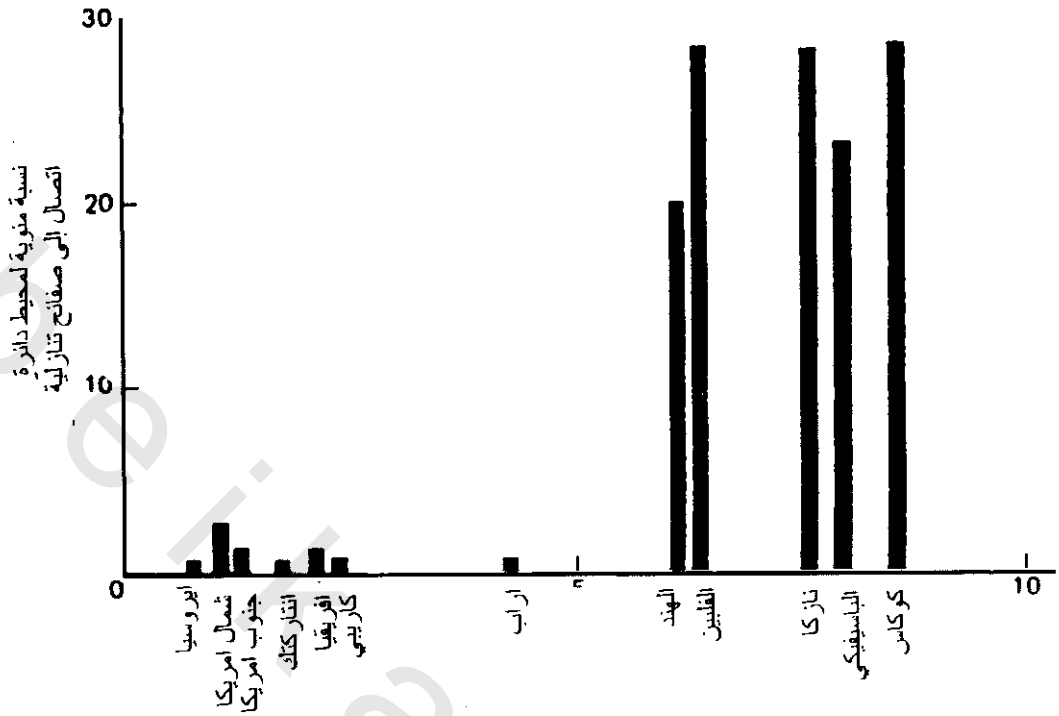



**شكل (12-13): نموذج صخرى لتباعد أرضية محيطية ونظرية الإنسحاب. عمق الإنسياب المرتد الذى يرى بواسطة الأسهم فى وسط الشكل (غير معروف) (رنجوود Ringwood 1974)**

الأطلنطى الإستواءى المستخدم فى تفسيرها حجيرات تيارات الحمل تكون غير قابلة للتصديق عند مقارنة محصورة لإمتداد أطواله وأعماقه.

أيضا، من الصعب رؤية كيفية إستطاعة نموذج الحجيرة البسيطة لتوضيح سلوك اللوح الإفريقى شكل (12-5) الذى يكون الجزءالغالب مرتبط بواسطة نتوء منتصف الأطلنطى والنتوء فى المحيط الهندى. هذا اللوح ينمو على كلا الجانبين، وحيث لايوجد أخدود متوسط، لذلك يتحرك النتوئين بعيدا عن بعضهما. ومن الصعب تخيل أن إرتفاع جوانب الطيات لحجيرات تيارات الحمل يحفظ سرعة السير بالضبط مع حركة النتوءات. لذلك لاتمثل تيارات حمل الستار كوظيفة قوية لقوة دفع.

حتى الآن، تمت اختبارات قليلة لتاسيس القيم النسبية لقوى الدفع الممكنة. إحدى هذه التقريبات تقدير "مطلق" لسرعات الألواح بواسطة حركة الألواح النسبية إلى "البقع الساخنة" الثابتة شكل (12-12). عمل فورسيث ويودا Forgth and Yyeda 1975 تحليلات للعلاقة بين السرعة المطلقة، ومساحة أساسية، وابعاد حواف الألواح ، فوجدا صلة قوية بين السرعة المطلقة للوح وطول حافته التى سحبت شكل (12-14). أدت هذه الصلة لاقتراح بأن قوة الدفع الكبيرة تكون لسحب الصفحية، ويكون دفع النتوء وسحب الستار نسبيا أقل أهمية. وهذا لايؤدى للقول أن القوى الأخرى مهملة، وذلك لتواجد ألواح (مثل أفريقيا وأنتاركتيكا) التى ترى حركة نسبية مع أنها صغيرة أولا تسحب حافة. سلما هذين الملفين بأن تيارات الحمل فى نطاق الإنسياب الذى يلى القشرة الأرضية (الغلاف المائع استينوسفير Asthenosphere) لاتكون خارج سيطرة كتأثير تحكمى، ولكن تكون هامة نسبيا بالمقابلة لقوة دفع النتوء حيث تكون صعبة المصاحبة. مع ذلك مازال السؤال قائم عن النسبية الهامة للقوى التى تحرك الألواح.




شكل (12-14): النسبة المئوية لألواح محيطية دائرية متصلة لإتجاه سفلى صفائحى مقابل السرعة المطلقة للألواح (فورسيث ويودا Forsyth and Uyeda 1975)