نظرية تكتونية الصفائح
بين القرائن والأدلة العلمية المؤيدة والمناقضة

م.م. احمد سعيد ياسين
كلية الآداب / جامعة القادسية

الخلاصة :

لقد كان لنظرية حركية الألواح أو تكتونية الصفائح الأثر الكبير في تفسير نشأة الأشكال الأرضية وتطورها ، فقد ظهرت أساسيات هذه النظرية بداية القرن العشرين في محاولة لفهم ما جرى لهذا الكوكب لا سيما سطحه الخارجي من تغيرات شكلية خلال مدة امتدت لأكثر من ٤.٥ مليار سنة ، الأمر الذي أثار موجة كبيرة من الاعتراضات والجدل على صحة هذه النظرية ومدى دقتها ، ما أدى إلى استبعادها من الساحة العلمية لمدة قاربت على النصف قرن ، إلا إن لتطور التقنية ونضوج كثير من الأفكار الأحدث والمدعومة بالأدلة العلمية أعاد لهذه النظرية وجودها إلى الحيز العلمي من خلال تسليط الضوء على أهميتها من جديد لا سيما أواسط الستينات من القرن العشرين ومن ثم تبلورها بشكل كامل خلال ثمانينات القرن العشرين .

إن هذه الدراسة تهدف إلى تسليط الضوء على أهمية هذه النظرية في الدراسات الجغرافية الطبيعية ، لاسيما ضمن مجال علم الأشكال الأرضية – الجيومورفولوجيا ، فضلا عن إيضاح الأسس التي ارتكزت عليها هذه النظرية ومدى دقتها في تفسير الأسباب الكامنة وراء تغير أشكال سطح الأرض واستمرارية ذلك منذ نشأة الأرض وحتى يومنا هذا .

أما بالنسبة لمشكلة البحث فقد تلخصت بالتركيز على ابرز الأدلة العلمية الداعمة لأسس هذه النظرية لا سيما الأحدث منها من جهة ، فضلا عن التركيز على المدى الذي حققته هذه النظرية في الوقت الحاضر بالنسبة لدقتها ومدى ثباتها العلمي من جهة ثانية .

ويجدر بالذكر إن كثيرا من الأدلة لم تأتي من اختصاص واحد فحسب وهو الجيولوجيا بل رفدت هذه النظرية بالأدلة المتأتية من اختصاصات علمية أخرى مؤكدة بالتالي صحتها وإثباتا لدقتها العلمية ، ومنها الدليل الأحدث الذي تم الإشارة إليه في متن هذا البحث وهو الدليل الحياتي المعروف ب رحلة السلاحف الخضراء ، الذي يسلط الضوء بدوره على حركة هذه الكائنات الممتدة بين سواحل البرازيل باتجاه مرتفعات وسط المحيط الأطلسي وتحديدا صوب جزر الاسينشن الواقعة إلى الشرق من سواحل البرازيل بنحو ٢٠٠٠ كم ، والتي تعكس بدورها سلوكا مميزا متأتي من خبرة حياتية تزيد على آلاف السنين الأمر الذي أفاد في اعتبار هذا السلوك دليلا حياتيا يعكس ما حصل من تغيرات شكلية لسطح الأرض عموما خلال الأزمنة الجيولوجية الموغلة في العمق ، والذي أكد بالتالي دقة حركية الألواح .

المقدمة (Introduction)

تم التركيز في هذه الدراسة على واحدة من ابرز الأفكار العلمية (النظريات) التي طرحت لأجل تفسير تغير الأشكال الأرضية واستمرارية حصول ذلك منذ نشأة كوكب الأرض ، وبرغم أهمية تفسير سبب حصول هذه التغيرات السطحية المستمرة التي تعد بدورها نتاجا وبدرجة كبيرة للعمليات الأرضية الباطنية على اختلافها بالنسبة للإنسان ، إلا إننا نجد إن نتاج الفكر البشري وإجابة تساؤلاته الكثيرة منذ أن وجد على سطح الأرض ، لم يشف غليله العلمي إلا بحلول أواسط ستينات القرن العشرين (١٩٦٨) عندما تبلورت في حيز الوجود نظرية جمعت معظم الجهود العلمية للإنسان في هذا

المجال عموما والتي امتدت لقرابة نصف قرن من الزمان بالخصوص ، فانتظمت ضمنها معظم النظريات التي سبقتها ، لاسيما نظرية الانجراف القاري أو زحزحة القارات (Continental Drift) ونظرية توسع قاع المحيط (Sea Floor-Spreading) ، وغيرها مما أدى إلى تقديم التفسير الأكثر منطقية ونضجا لما كان يعد لغزا حير البشرية لحقبة طويلة .

لقد أقامت نظرية حركية أو تكتو نية الصفائح (Plate Tectonics) الدليل على صحة تفسيرها لتطور أشكال سطح الأرض لاسيما القارات والمحيطات منذ نشأة الكوكب وحتى اليوم ،إذ ارتقت فكرتها العلمية كثيرا بعد أن دعمت بأدلة علمية حديثة كانت نتاجا لدراسات جيولوجية وجيومورفولوجية وحتى بيولوجية .

تضمنت منهجية وهدف الدراسة التعريف بهذه النظرية وتبيان أسسها العامة وأهميتها العلمية في تفسير وتحديد الكيفية التي تحصل بها الحركات الباطنية (البطيئة والسريعة) وأثرها على الأشكال الأرضية السطحية ، وفقا للمنهجية التي اعتمدتها هذه الدراسة .

كما اعتمدت الدراسة على احدث الأدلة الداعمة لحركية أو تكتو نية الصفائح (Plate Tectonics) ألا وهو دليل رحلة السلاحف الخضراء ، الأمر الذي دعا لان تخرج هذه الفكرة من نطاق النظرية العلمية إلى كونها قانونا طبيعيا له من الدقة ما لبقية القوانين الطبيعية الأخرى التي أثبتها الإنسان شيئا فشيئا .

هدف الدراسة (Purpose off) :

تهدف الدراسة إلى التعريض بحركية أو تكتو نية الألواح (Plate Tectonics) تعريفا وإبراز أهميتها في الدراسات الجغرافية ضمن اختصاص علم الأشكال الأرضية (Geomorphology) ، رغم كونها جيولوجية الأصل كونها تمثل أرضية مشتركة لفهم كثير من المتغيرات التي تحصل لهذا الكوكب سواء كانت تحت سطحية أم ما ظهر منها على السطح .

كذلك فان من أهداف هذه الدراسة إيضاح الأسس التي ترتكز عليها تكتو نية أو حركية الألواح (Plate Tectonics) وعرض مبادئها العامة ، كذلك عرض ومناقشة ابرز الأدلة وأكثرها حداثة في تعزيز قوة هذه النظرية علميا وإثباتا من جهة ، بالإضافة إلى الإشارة لما جاء من اعتراضات وتشكيك بدقتها من جهة ثانية ، فضلا عن إبراز أهمية الترابط الموجود بين الاختصاصات العلمية المختلفة وإمكانية الإفادة من أطروحات الاختصاصات الأخرى في هذا المجال .

منهجية الدراسة (Project) :

نظرا لكون الدراسة تقع ضمن إطار الدراسات (الجيولوجية _ الجيومورفولوجية) المشتركة ، ولان مجالها واسع يشمل سطح الكوكب ، فقد تم اعتماد المنهج النظامي في هذه الدراسة .

مشكلة البحث (Problem):

من الممكن أن نلخص مشكلة البحث ضمن هذه الدراسة بالنقاط التالية :

١- ماهي الأدلة العلمية الناضجة (الدقيقة – الأكثر رجوحا) التي تدعم تكتو نية الصفائح ؟

٢- هل ما زالت أسس ومبادئ تكتو نية الصفائح (Plate Tectonics) تثير الشك في صحتها أو دقتها العلمية ؟

فرضية البحث :

لقد تبين من معرفة واثبات كثير من الأدلة القديمة والحديثة بان هذه النظرية لم تواجه ما يدحض أسسها ومبادئها العلمية منذ ظهورها إلى حيز الوجود ، بل على العكس فقد ظهرت أدلة متكررة ترتبت

وفقا لتسلسل زمني متناغم صحة هذه النظرية ودقتها في تحديد أسباب ونتائج الحركات الأرضية الباطنية وأثرها في أشكال السطح وامتداد ذلك الأثر ليشمل أشكال كثيرة من الحياة على سطح الأرض .

لقد حيرت الكيفية التي نشأت وظهرت من خلالها مختلف الأشكال الأرضية الرئيسة كثير من العلماء ،إلا إن معظم الجهود التي انصبّت في هذا الاتجاه لمحاولة الوصول إلى تفسير علمي مقنع عن هذا الموضوع قد جاءت على يد المتخصصين بمجالات الجيولوجيا ،ولا يخفى ما كان لدراسات وبعض استنتاجات الاختصاصات الأخرى من أهمية في رفد الدراسات الجغرافية الطبيعية ضمن هذا الموضوع وغيره من الموضوعات الأخرى ذات العلاقة بصورة مباشرة أم غير مباشرة.

لذا فقد جاءت محاولات العديد من المتخصصين بمجالات الجيولوجيا والجيومورفولوجيا لتفسير الكيفية التي نشأت بها معظم الأشكال الأرضية الرئيسة،ومنها محاولاتهم فهم طبيعة وعمل القوى الباطنية التي أثرت وما زالت تؤثر فيه باستمرار فكانت من نتائج تلك البحوث المضنية التي استغرقت وقتا طويلا أن تبلورت أفكارا عدة ارتقت بكونها نظريات ، فكانت نظرية زحزحة القارات (Continental Drift) النظرية الرائدة في هذا المجال التي جاءت على يد العالم الأمريكي تايلور عام (١٩١٠) ثم أعاد طرحها العالم الألماني الفريد فاجنر (Alfred Wegener) عام ١٩١١_١٩١٢ ، ثم تلتها نظرية التيارات الصاعدة_تيارات الحمل أو التيارات الصاعدة (Convection Current Theory) على يد (هولمز) عام (١٩٢٤)[١] ، فنظرية تمدد او توسع قاع المحيطات (Sea Floor - Spreading) التي قدمها العالم هاري هيس (H. Hess) عام (١٩٦٢)[٢] ، إلا إن درة هذه الأفكار والبحوث قد تجلت ببزوغ ونضوج نظرية أخرى كانت نتاجا لما سبق من أفكار ونظريات ،فكانت نظرية تكتو نية الصفائح (Plate Tectonics) .

ظهرت هذه النظرية إلى حيز الوجود العلمي أواخر الستينات من القرن العشرين كنتاج فكري لعدة علماء أبرزهم (Morgan) والعالم (Le Pichon) عام (١٩٦٨)[٣] ، مستندة بدورها على فكرة زحزحة القارات كظاهرة ونظرية تمدد أو انتشار وسط المحيطات كقوة أفقية محركة ، وفحوى هذه النظرية (Plate Tectonics) يؤكد على إن القشرة الأرضية (يابس وبحار) تنقسم على عدة ألواح (صفائح) تركيبية ضخمة تتحرك بدورها كوحدات مترابطة مع بعضها البعض بحيث تؤثر حركة الواحدة أو الاثنتين منهما على الجميع ولو بعد حين من الزمن ، عليه فإنها أكدت وجود سبعة ألواح (صفائح) رئيسة(Plates) وحوالي عشرون لوحا (صفيحة) صغيرة محصورة بين الألواح الرئيسة تعرف بالصفائح الثانوية(Sup Plate)، وابرزا لصفائح أو الألواح الرئيسة هي :

١- الصفيحة الأوربية الآسيوية (Eurasian Plate)
٢- صفيحة المحيط الهادئ (Pacific Plate)
٣-صفيحة أمريكا الشمالية (North American Plate)
٤- صفيحة أمريكا الجنوبية (South American Plate)
٥-الصفيحة الاسترالية –الهندية (Australian-Indian Plate)
٦-صفيحة القطب الجنوبي (Antarcilica Plate)
٧- الصفيحة الأفريقية (African Plate)

أما ابرز الصفائح(الألواح) الثانوية :

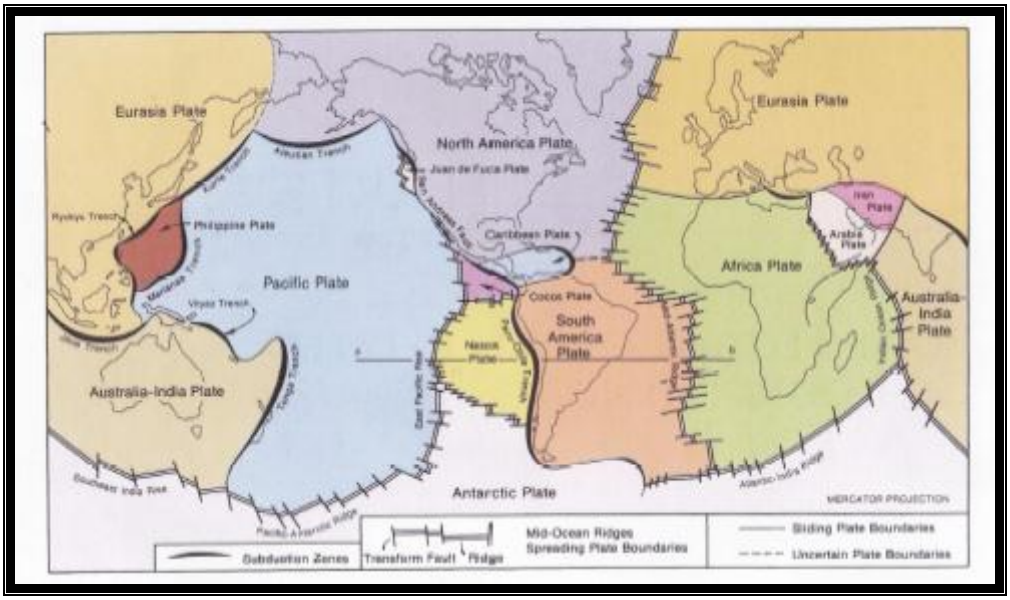
١- الصفيحة العربية
٢-صفيحة الأناضول
٣-صفيحة البحر الأسود
٤-الصفيحة الفلبينية
٥-صفيحة الكاريبي

والشكل (١) يبين توزيع هذه الصفائح وانتشارها على سطح الأرض.

عموما فان هذه الصفائح (الرئيسة والثانوية) يتراوح سمكها بين ٧٠-١٠٠ كم وبذا فإنها تمثل الغلاف الصخري الصلب لكوكب الأرض ،وعليه فإنها ستشمل كل القشرة الأرضية (The Earth Crust) والجزء العلوي الخارجي من الغلاف الباطني الثاني المشكل لباطن الكوكب المعروف بالجبة (The Mantle)[٤].

شكل رقم (١)

الصفائح القارية والمحيطية (الرئيسة والثانوية) للقشرة الأرضية



المصدر : James H.Zumberge and others : Physical Geology, Eleventh Edition, published by Mc Graw-Hill, New York, USA, 2003, PP :232.

وفقا لذلك نجد أن هذه الصفائح ستمثل بدورها ما يعرف بالغلاف الصخري للأرض (Lithosphere) الذي يشمل أول (١٠٠) كم من بداية السطح الخارجي للكوكب وحتى عمق (٤٠٠) كم ، وهو يستقر بدوره فوق نطاق غير صلب ومائل للسيولة يعرف بالغلاف الوهن (Asthenosphere)**.

إن من ابرز أسباب إهمال نظرية (انجراف القارات) وعدم الأخذ بها لمدة طويلة هو لعدم تمكنها من إيضاح سبب تحرك القارات (تجمعا أو انفصالا) ، إلا إن نظرية حركية الألواح أو تكتو نية الصفائح قد نجحت في تفسير الكيفية التي تحدث بها حركة الصفائح ومن ثم القارات بالتالي ، فضلا عن معرفة القوى المؤدية لحدوث هذه العملية واستمراريتها والتي يمكن إيجازها على شقين هما :

أولا: القوى اللازمة لحركية الألواح أو الصفائح

إن تحرك الألواح أو الصفائح(القارية ، البحرية) يحتاج إلى طاقة كبيرة جدا وجد إن مصدرها هو حرارة باطن الأرض التي توفر الطاقة اللازمة لحركة الألواح أو لحصول ما يعرف بالعمليات الباطنية للكوكب والتي ستكون بدورها المسؤولة عن بناء سطح الأرض ، كذلك فان للجاذبية الأرضية اثر ودور في هذه العمليات.

ويمكن إجمال ابرز مصادر الحرارة الداخلية للأرض بالتالي :

١- الحرارة المتبقية (Residual Heat) : وهي الحرارة التي تزامنت مع نشأة الأرض والتي لم تزل مستمرة بإعطاء الحرارة من باطن الأرض بهيئة انبعاثات حرارية من النواة الداخلية وكذلك النواة الخارجية التي تعمل على تقوية هذه الانبعاثات ، يضاف لها كذلك الحرارة المنبعثة من طبقات الجبة الثلاث .

٢- تناقص النشاط الإشعاعي (Radio Active Decay) : وهي عملية طبيعية يتم من خلالها تغيير مكونات الذرات لا سيما للعناصر المشعة لإنتاج عناصر جديدة كما يحدث في التفاعلات النووية ، مما ينتج عنها تحرر طاقة بهيئة حرارة عالية تبرد عند صعودها إلى القشرة الأرضية[٥].

ونتيجة لانبعاث الحرارة واختلاف مقدارها بين اغلفة باطن الأرض ، حيث تكون حرارة النواة أكثر من الجبة وانتقالها إلى الأعلى صوب القشرة الأرضية بواسطة تيارات الحمل ، فان ذلك ما تسبب بتشكيل نطاق الغلاف الوهن (Asthenosphere) الذي يشغل الأجزاء العليا من الجبة بمعدل سمك يتراوح بين ٢٠٠-٣٠٠ كم والذي يتصرف كحزام ناقل عملاق يجعل الصفائح تتحرك فوقه كطوف من الخشب يطفو على الماء[٦].

ثانيا: ديناميكية حركة الألواح

لأجل الإحاطة بالديناميكية التي استندت عليها هذه النظرية اعتمادا على المعطيات السابقة ، فلابد من التطرق إلى نقطتين رئيستين لهذه الفقرة هما :

أ- كيفية انتقال الطاقة المحركة وأثرها في حركة الألواح

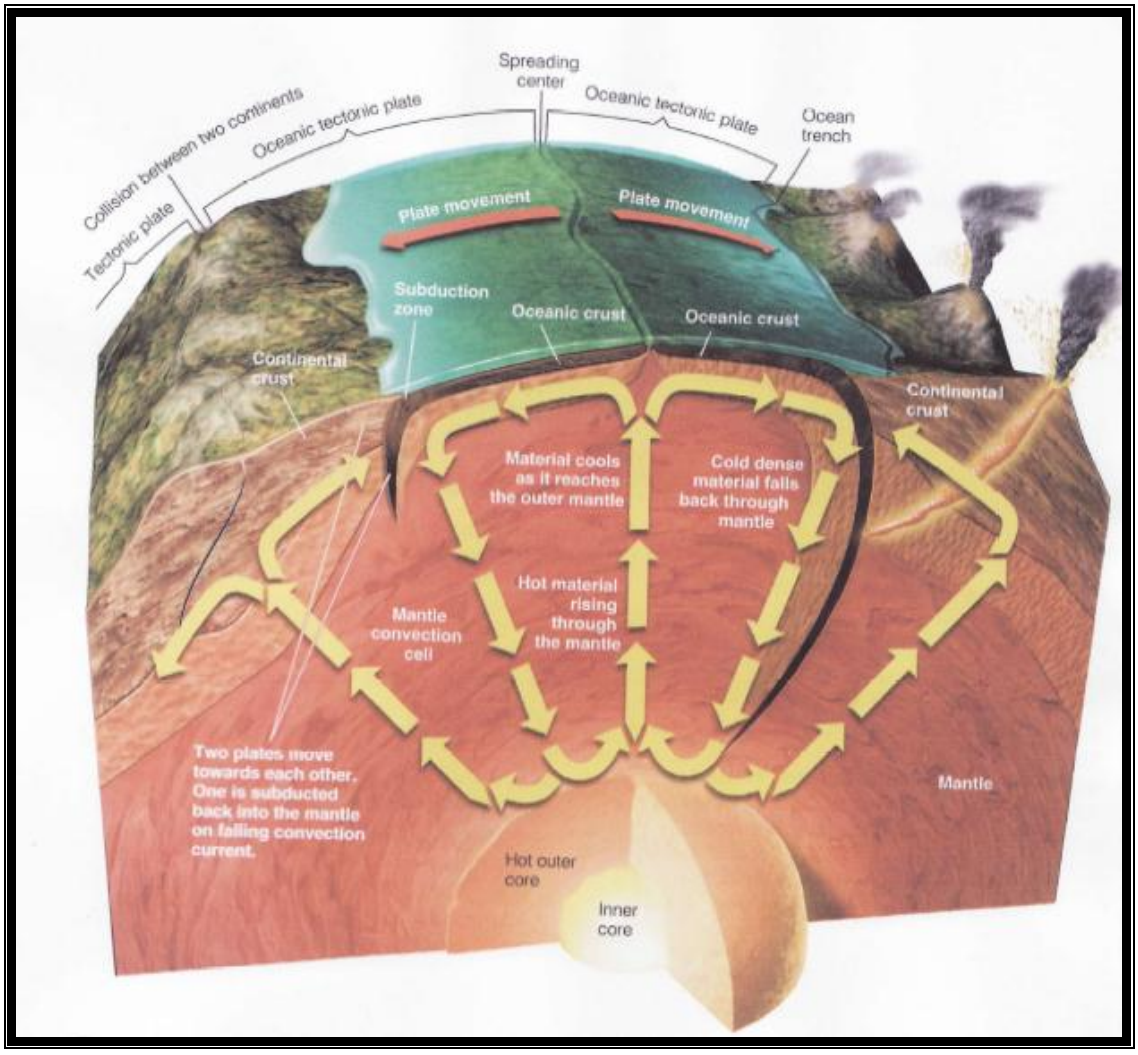
ب- اتجاهات حركة الألواح (الصفائح) ، وهو الأمر الذي يمكن تفصيله كما يلي :

أ- انتقال الطاقة وحركة الألواح :

إن الحرارة المنبعثة من النواة بصورة رئيسة تتسبب بكثير من التشويه للجبة أثناء عبورها لها ببطء ، عموما فان انتقال الحرارة من الباطن إلى الأعلى يشبه بدوره نمط انتقال الطاقة في الغلاف الجوي بواسطة تيارات الحمل ، ومع هذا الانتقال للطاقة فان ذلك سيعمل على رفع كميات من المعادن والصخور الحارة ذات الكثافة العالية نحو الأعلى وتحديدا النطاق الرقيق العلوي من الجبة (الاسثينوسفير) ، ويتم ذلك خلال ممرات خاصة تعرف بخلايا الانتقال أو خلايا الحمل (Convection Cell) وبوصول المعادن والصخور الحارة إلى نطاق الغلاف الوهن (الاسثينوسفير) بفعل انتقال الحرارة ، فإنها ستبدأ عندها بالتحرك نحو الأطراف كما في النمط الشعاعي الذي يشبه بدوره انسياب قطرات الماء من أعلى المظلة الشمسية (المظلة المطرية) نحو حافاتها بكل الاتجاهات[٧] ، وكما موضح في الشكل (٢).

إن هذا النمط من الانتقال للطاقة وما يرافقه من انتقال للصخور و المعادن الحارة المرحلة بكثافة نحو الأعلى من جهة ، وهبوط المعادن الباردة نحو الأسفل بتأثير الجاذبية الأرضية خلال ممرات أو خلايا انتقال (خلايا حمل) لها من جهة أخرى ، هو الأمر الذي سيعمل على تحريك حافات الألواح (Rigid Plates) باتجاهات معينة ومن ثم فأنها تعمل على تغيير الشكل الخارجي لسطح الأرض وفقا لهذه النظرية[٨].

شكل رقم (٢)
يبين كيفية انتقال الحرارة من باطن الأرض نحو السطح خلال مسالك (نطاقات) محددة مسببة حركة الصفائح الأرضية الضخمة



المصدر : G.Tyler Miller, JR. : Living in the Environment, Thirteen Edition,Thoson Learning printed , Canada, 2004, pp: 206 .

ب- اتجاهات حركة الألواح :

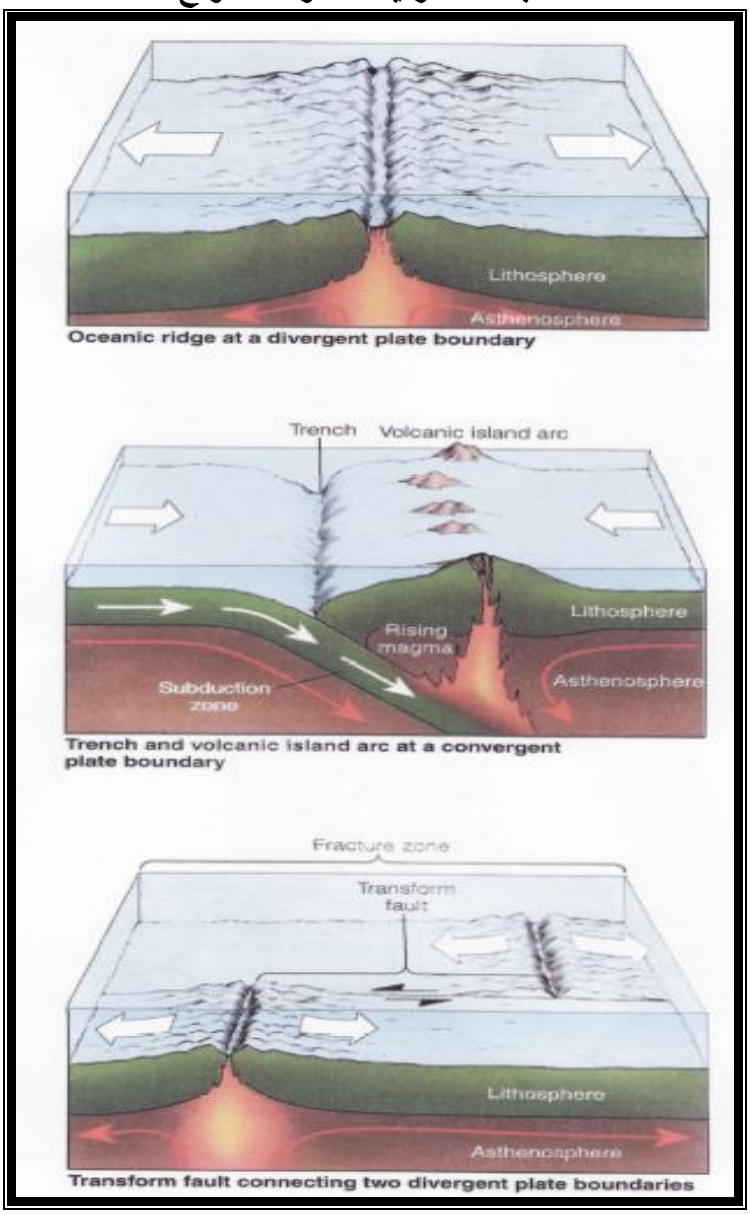
نتيجة لاستمرار انتقال الطاقة من مركز الأرض نحو الأعلى فان ذلك سيجعل ألواح أو صفائح القشرة الأرضية في حالة حركة دائمة يمكن أن تظهر بالاتجاهات التالية :

١- حركات التباعد أو الانفراج (Divergent Movement) : تحدث عند تباعد الألواح أو الصفائح عن بعضها البعض ، مما يؤدي إلى خروج اللافا من باطن الأرض كما يحصل في حالات الأودية الخانقية والمناطق البركانية كما في حاجز وسط المحيط الأطلسي (Mid-Atlantic Ridge) ، وبسبب هذه الحركات فقد تباعدت القارات عن بعضها البعض كما في حالة تباعد قارة أفريقيا عن أمريكا وتشكل المحيط الأطلسي ، أو تباعد الصفيحة العربية عن الإفريقية مما أوجد البحر الأحمر .

٢- حركات التقارب أو التلاحم (Convergent Movement) : وهي مناطق التحام الألواح مع بعضها البعض في مناطق التصادم ، الأمر الذي يؤدي إلى تناقص أحجامها وتشكيل الجبال الالتوائية الحديثة مثل جبال الهيمالايا والألب .

٣-الزحزحة الجانبية للألواح (Transfusion) : تحصل على حدود الصفائح حيث تنزلق الصفيحتان على جانبي بعضهما بعضا بشكل أفقي على طول سلسلة من الصدوع ، كما هو الحال في صدع سان أندرياس في كاليفورنيا الذي يفصل لوح أو صفيحة أمريكا الشمالية عن صفيحة المحيط الهادئ[٩] ، شكل (٣) .

شكل رقم (٣)
الاتجاهات الرئيسة لحركة الألواح



المصدر : G.Tyler Miller, JR. : Living in the Environment, Thirteen Edition,Thoson Learning printed , Canada, 2004. ; pp : 208.

وكنتيجة لما سبق نجد إن طريقة انتقال الطاقة الحرارية لباطن الأرض ، بالإضافة إلى انقسام الغلاف الصخري (القشرة الأرضية وأجزاء من الجبة) على ألواح صلبة (قارية وبحرية) وكيفية خلق القشرة الأرضية الجديدة على طول حدود الانفراج من جهة ، وعملية التعويض التي تتم من خلال تحطيم (تكسير) القشرة في مكان آخر وتحديدا على طول مناطق الخنادق أو الأغوار المحيطية

(Trenches) عندما تلتقي صفيحتين (قارية ومحيطية) باتجاه احداهما الأخرى ، حينها ستهبط الصفيحة المحيطية أسفل القارية الأكثر صلابة منها نحو أعماق الخندق المحيطي تحت الصفيحة القارية ، الأمر الذي سيؤدي إلى فقدان الصفيحة المحيطية لصلابتها باندفاعها للأسفل ودخولها ضمن نطاق الاسثينوسفير بسبب الضغط الهائل وارتفاع الحرارة مع العمق من جهة ثانية ، الأمر الذي يحقق حالة من التوازن بين خلق قشرة جديدة على طول مرتفعات وسط المحيط وفقدان قشرة أقدم على طول الخنادق المحيطية[١٠] ، كما توضحها الأشكال (٢-٣) .

وبذلك تتضح وبصورة جلية الديناميكية العامة التي تستند عليها نظرية حركية الألواح أو تكتو نية الصفائح (Plate Tectonics) في تفسير الكيفية والأسباب التي يتم بها تغير السطح الخارجي للأرض عموما وتفسير وجود الكثير من المظاهر التضاريسية الأرضية وأسباب توزيعها ، فضلا عن انتشار القارات واستمرار إزاحتها وتحرك هذه الصفائح بصورة متعلقة بعضها بالبعض الآخر ، ونتيجة لذلك فقد قبلت هذه النظرية عالميا منذ نهايات ستينات القرن العشرين وحتى اليوم رغم أنها واجهت وتواجه بعض الاعتراض على قبولها بين وقت وآخر .

معدلات حركة الألواح وأمثلتها العالمية والمحلية :

إن مقدار الإزاحة السنوية لألواح أو صفائح القشرة الأرضية يتراوح بين (٢- ٥) سم \سنة وهو مقدار كبير جدا قياسا بعمر الأرض و الذي يقدر بحوالي(٤,٥)مليار سنة وبرغم بطئ هذه الحركة ظاهرا إلا إنها ضخمة قياسا بأثرها الذي يمكن أن تحدثه خلال سلم الزمن الجيولوجي للأرض[١١] ، كما يلاحظ إن حركة الصفيحتين العربية والأفريقية تحصل بسرعة إزاحة (٣ سم\سنة) ،وبأثر ذلك فانهما تتسببان بإحداث ضغط كبير على عدة صفائح محلية صغيرة ، كصفيحة الأناضول والصفيحة الإيرانية شرقا، والصفيحة الصومالية من جهة الغرب ، مما يتسبب بحصول الزلازل الشديدة في تركيا وإيران وشمال العراق وأرمينيا[١٢] ، كما إن ذلك يؤدي إلى استمرار عملية التقعر الإقليمي لمنطقة السهل الرسوبي العراقي واستمرارية هبوط أراضي منطقة اهوار جنوبي العراق وعدم امتلائها بالرسوبيات الهائلة التي جلبتها مجاري انهار دجلة والفرات كما أشار إلى ذلك العالمان (ليس وفالكون)[١٣] ، فيما يلاحظ إن صفيحة أمريكا الشمالية تبتعد عن الصفيحة الأوربية بحوالي (٥ سم\سنة) أي ان اتساع المحيط الأطلسي يقدر بما يقرب من (٥سم)كل عام[١٤].

وعلى صعيد آخر فقد تم الإفادة بالتأكد من دقة هذه الحركات واستمراريتها بمعدلات معينة لتتبع وتقدير بعض الازاحات الصدعية الالتوائية البطيئة لمناطق مختلفة من العالم ، من ذلك حساب معدل زحزحة(صدع هيوارد) في كاليفورنيا التي بلغ معدلها (٠.٢٥) ملم \ السنة و(صدع سان اندرياس) بحوالي (٣-٥) سم\سنة.

كما إن حساب معدلات الزحزحة الجانبية أدت لمعرفة سبب ابتعاد دلتا وادي الموجب في الأردن صوب الشمال عن بيئة مصب الوادي بمسافة ١٣٠٠م ، وشروع الوادي بتكوين دلتا جديدة بعد أن هجر الدلتا القديمة التي شكلها بداية، وبنفس الاتجاه فقد أمكن تفسير سبب استيعاب البيئة الترسيبية لغور الأردن لاسيما البحر الميت لكميات الرواسب الهائلة التي حملتها إليها الأودية الجانبية جراء استمرار عمليات الهبوط الأرضي الناجمة عن الحركات التكتونية[١٥] ، كما هو حال أراضي منطقة اهوار جنوب العراق .

القرائن والأدلة الداعمة والمعارضة للنظرية :

عند طرح أي فكرة علمية تتعلق بموضوع أثار اهتمام الإنسان وحاول فهمه لاسيما ما يتعلق بنشأة الكوكب وتطور الحياة عليه ضمن مدى زمني كبير يمتد إلى نحو ٤.٥ مليار سنة ، فانه يسعى جاهدا لمعرفة الركائز العلمية التي يمكنه اعتمادها في دعم الفكرة العلمية (النظرية) وما ستقدمه من حلول بعد مخاض عسير لإيجاده البداية الصحيحة من جهة ، وصعوبة إدراك ما حصل فعلا في الواقع

(الماضي البعيد) وفقا للتخيلات العلمية التي أفرزتها الفكرة العلمية ومن ثم قوة التشبث بها من جهة ثانية .

وكلما كانت النظرية ضخمة في الإجابة ووضع الحلول لأسئلة غامضة على الإنسان طويلا ، واجهت بدورها رد فعل عنيف متناسب بطبيعة الحال مع قوة وجرأة فكرتها بين أوساط العلماء وساحاتهم .

لذا نجد إن نظرية حركية أو تكتو نية الصفائح قد واجهت مثل هكذا إعراض بوجود أدلة معارضة لصحة فكرتها الأمر الذي دعا لان يهمل أساسها الأول (نظرية زحزحة القارات) لمدة ناهزت الثلاثين عاما بعد ولادة فكرتها ، إلا إن الأدلة العلمية المؤيدة لصحتها بدأت تترى منذ نهايات خمسينات القرن العشرين استمرارا وحتى وقتنا الراهن ، لاسيما تلك الداحضة لما سبق من دلائل معارضة فضلا عن الأدلة الأكثر دقة في تأييد هذه النظرية والارتقاء بها إلى نطاق الحقيقة العلمية المعتمدة .

لذا سيتم طرح القرائن المعارضة بداية ثم طرح ابرز الأدلة الأحدث لاسيما الدليل الحياتي (رحلة السلاحف الخضراء) الذي يرتكز عليه هذا البحث بدرجة كبيرة وكما يلي :

أولا - القرائن المعارضة :

معظم ما أثير من أدلة أو قرائن معارضة رافقت ظهور فكرة تكتو نية أو حركية الصفائح ، كانت قد وضعت وقتها بوجه (زحزحة القارات) التي تعد الامتداد الطبيعي الأول لحركية الألواح وما تلاها من اعتراضات يتلخص أبرزها بالتالي :

ا- التسرب الحراري :

يقصد بالتسرب الحراري مقدار الحرارة الناتجة عن كميات عناصر المواد المشعة سواء ما كان موجودا منها ضمن القشرة القارية أم المحيطية ، ويلاحظ إن حجم التسرب الحراري في القارات والمحيطات متساوي تقريبا ، وهو ما يلفت النظر إلى نقطة مهمة هي إن القشرة القارية (The Earth Crust) أكثر سمكا بكثير من القشرة المحيطية المعروفة برقتها ، وبذا يفترض أن تضم القشرة المحيطية كميات اقل بكثير من مواد العناصر المشعة الموجودة في القشرة القارية .

عليه فقد أدى ذلك إلى بروز فكرة مؤداها إن القارات قد تكونت من الأجزاء العليا من الجبة (The Mantle) ، ولو تم افتراض إن مصدر التسرب الحراري يرجع إلى هذا النطاق لحدث تباين كبير في حجم التسرب الحراري تحت القشرة القارية (القارات) عنه تحت القشرة المحيطية (تحت المحيطات)، فضلا عن ذلك فلو حصلت إزاحة وفقا لهذا لأوجد ذلك الأمر مناطق اضطراب في الشكل العام لحالة الترتيب الموحد للتسرب الحراري ، فهو قد يتضاعف حينما تغطي قارة محيطا سابقا[١٦].

ويبدو إن هذا الاعتراض هو ما أدى إلى تقويض انتشار (زحزحة القارات) وهو ما أدى إلى وضع كثير من علامات الاستفهام على دقة حركية أو تكتو نية الصفائح ، إلا إن الدراسات الأحدث تؤكد على إن مصدر الحرارة المحركة للألواح يأتي من النواة (The Core) بالخصوص ومن جميع نطاقات الجبة عموما ، فضلا عن إن انتقال الطاقة الحرارية هذه يعتمد بدوره على ممرات محددة تعرف بخلايا الحمل (Cells Convection) [١٧] ، وهو ما أدى إلى دفع هذا الاعتراض وبقوة بعد مدة طويلة لظهور النظرية .

ب- الزلازل الأرضية (عميقة المركز البؤري) :

طرحت هذه النقطة كدليل اعتراض على صحة حركية أو تكتو نية الصفائح فيما يتعلق بالزلازل عميقة المركز البؤري التي يبلغ عمق مركزها قرابة (٧٠٠) كم والتي تحدث فقط قرب أطراف القارات .

ويبدو إن هذه النقطة قد أشارت بدورها إلى احتمال امتداد التراكيب القارية إلى أعماق سحيقة داخل الجبة (المنطقة العلوية من الجبة) وهو أمر يصعب تصوره في هذه الحالة نظرا لضعف حدوث

هكذا إزاحة لكتلة يصل سمكها لأكثر من (٦٥٠) كم ، عموما فمن الممكن أن يكون سبب حدوث هذه الزلازل لوجود تيارات الحمل[١٨].

ج- الترسبات المحيطية :

طرحت هذه النقطة كدليل نقض من خلال إشارتها إلى انه لو كانت قارتا أفريقيا وأمريكا الجنوبية متحدتين يوما ، فلابد والحال هذا أن يكون المحيط الأطلسي احدث عمرا من المحيط الهادئ أو بعض أجزائه ، إلا إن ما يلاحظ هو سمك رسوبيات المحيط الأطلسي التي تبلغ حوالي ضعف سمك رسوبيات المحيط الهادئ .

ويبدو إن مؤيدي هذا الرأي اغفلوا حقيقة أن المحيطات التي نعرفها اليوم لم تكن هي نفسها وفقا لما أوضحته حركية أو تكتو نية الصفائح بحسب السلم التطوري الجيولوجي للأرض ، ويبدو إن هذا هو ما أشارت إليه معظم الدراسات العلمية الأحدث المؤكدة بدورها لوجود أدلة تشير إلى إن عمر المحيطين الأطلسي والهادئ متساويين تقريبا[١٩] وهو الأمر الذي أدى لاستثناء هذه النقطة من لائحة أهم الأدلة المعارضة .

ثانيا - الأدلة المؤيدة :

منذ نهاية خمسينات القرن العشرين وحتى اليوم، سجلت الدلائل المؤيدة لصحة تكتو نية أو حركية الصفائح تطورا ملحوظا كما ونوعا لاسيما بعد تطور التقنيات الحديثة وما رافقها من دقة نتائج علمية كثيرة .

لقد تم تأييد صحة ودقة هذه الفكرة العلمية بأدلة علمية مهمة أبرزها :

١- المغناطيسية القديمة (الدراسات المستفيضة لمغناطيسية الصخور المحيطية ومقارنتها بمغناطيسية الصخور القارية) .

٢- القياس بأشعة الليزر (عملية قياس حركة حدود الصفائح – القارات- باستخدام تقنية استخدام أشعة الليزر التي تطلق من نقط محددة على سطح الأرض باتجاه مرايا عاكسة مثبتة على الأقمار الاصطناعية وأخرى على سطح القمر)

٣- حركة الأقطاب المغناطيسية للأرض (الشمالي والجنوبي) .

٤- دراسات النشاط الزلزالي ومن ثم توزيع الأحزمة الزلزالية والبركانية الرئيسة على صعيد العالم ومطابقتها مع حدود الصفائح الرئيسة ،حيث وجدت إنها مرتبطة ارتباطا وثيقا مع حدودها الخارجية .

إلا إن الدليل الأبرز الذي جمع بدوره نتاج جهود علمية مشتركة لاختصاصات عدة تمثل بدليل (رحلة السلاحف الخضراء) ، وهذه الأدلة أدت لان تتغير النظرة العلمية عن هذه النظرية ومن ثم الرقي بها إلى درجة أكثر دقة وثبات في مجالها العلمي ، لذا تم التركيز في هذا البحث على هذا الدليل الأبرز والمميز في مجال البحث العلمي ، وكما موضح في الفقرة التالية :

٥-رحلة السلاحف الخضراء :

لمدة طويلة كان سبب تحرك ألواح القشرة الأرضية تتحرك نسبة لبعضها البعض (تصادما أو ابتعادا) مجهولا ، إلا إن الرأي السائد والمتفق عليه علميا إن حركتها هذه (الأفقية والراسية) ناجمة عن كون إن هذه الصفائح الصلبة محمولة فوق طبقة لدنة معروفة بالغلاف الوهن ، هو ما يتسبب بحركاتها هذه ونتائجها التي يظهر أثرها جليا على سطح الأرض متمثلا بالزلازل والبراكين والعديد من الظواهر الجغرافية الطبيعية الأخرى الموجودة على سطح الأرض .

لقد أدت هذه النظرية إلى إحداث ثورة علمية بالنسبة للتفكير العلمي في هذا المجال ، فقد تمكن علماء الجيولوجيا والجيومورفولوجيا من التحاور وفقا لنظرة ومنظومة علمية موحدة ربطت وفسرت العديد من الظواهر الأرضية بعضا بالبعض الأخر بشكل لم يكن ممكنا فيما مضى من الوقت ، وبذا

أصبح ممكنا تفسير الكيفية التي تشكلت وتطورت بها منظومة السلاسل الجبلية الكبرى وغيرها ،فضلا عن منخفضات البحار والمحيطات عبر الأزمنة الجيولوجية الغابرة وحتى وقتنا هذا .

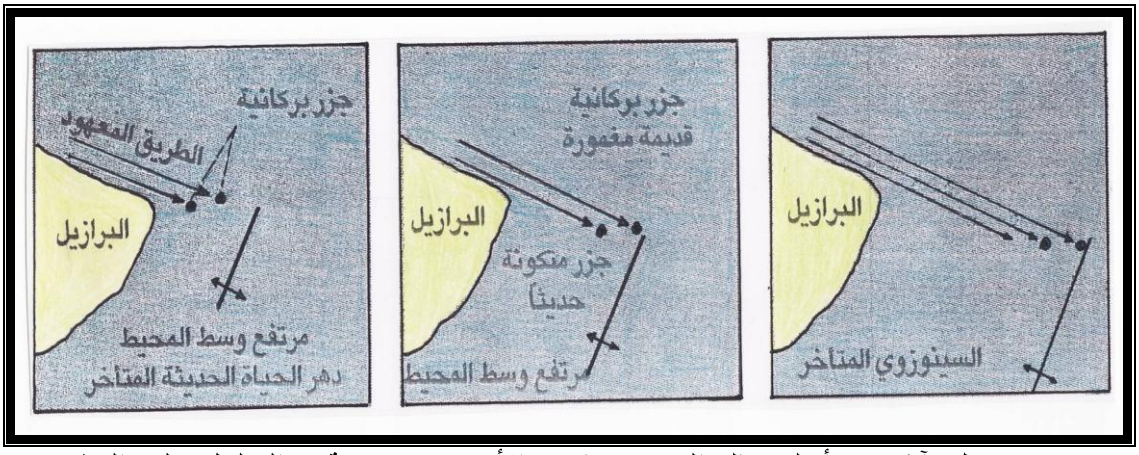
واجهت هذه النظرية عدة انتقادات رغم كونها ليست انتقادات عميقة من الناحية العلمية حالها حال أي من النظريات التي تظهر إلى حيز الوجود ،فحاول مؤيدوها الدفاع عن صحتها وإثباتها بالأدلة العلمية القاطعة ،سواء ما أمكن الحصول عليه من الأدلة خلال مدة وجيزة أم ما استطاع العلماء أن يعدوه دليلا ذا عمق زمني كبير ،فكانت رحلة السلاحف الخضراء إحدى تلك الأدلة المبرهنة على صحة هذه النظرية .

إن دليل رحلة السلاحف الخضراء هذا يعد التجربة الأطول من جميع سابقاتها لإثبات صحة حركية الألواح ،وفحوى هذا الدليل يؤكد على إن السلاحف الخضراء الموجودة على شواطئ البرازيل من قارة أمريكا الجنوبية ، تقضي معظم حياتها على تلك الشواطئ بالقرب من خط الاستواء ، إلا إنها تتصرف تصرفا حيّر علماء الحيوان المتخصصين بدراسة نمط عيشها وسلوكها العام ،إذ إنها تقوم برحلة سنوية تبدأ بين شهر كانون الثاني وحتى شهر آذار من كل عام ، حيث تغادر وطنها سابحة لمسافة أكثر من ٢٠٠٠ كم في عرض المحيط الأطلسي وصولا إلى إحدى جزر وسط المحيط والمعروفة بجزيرة " اسينشن " ا لصغيرة ذات المساحة البالغة (٩٠) كم٢ والتي تعد من الجزر القزمية[٢٠] ، فتقوم هذه السلاحف بوضع بيضها على شواطئ تلك الجزيرة واحتضانه ، من ثم تعود هذه السلاحف بعد أن يفقس بيضها مصطحبة صغارها معها إلى موطنها الأصلي في البرازيل .

تستغرق هذه الرحلة في كل اتجاه زهاء الشهرين ، ويبدو إن ما كان معروفا في أوساط العلماء انه كنتيجة طبيعية لملائمة سواحل تلك الجزيرة لهذه العملية (وضع البيض) ، فضلا عن قلة واختفاء الكثير من أعدائها الطبيعيين الذين يهددون بيضها وصغارها في هذه الجزيرة عنه عند شواطئ موطنها الأصلي في البرازيل فهو ما يبدو ظاهرا السبب الرئيس في رحلتها المضنية هذه، إلا إن ما زاد في حيرة هؤلاء العلماء هو الكيفية التي استطاعت بها هذه المجاميع الضخمة من السلاحف في الوصول إلى هذه الجزيرة وسط أمواج ومخاطر المحيط الواسع ؟ وكان أكثر الأسئلة ترددا هو متى تعلمت هذه السلاحف الإبحار إلى هذه الجزيرة؟ وكيف قامت أول سلحفاة عرفت هذه الجزيرة بإخبار بقية السلاحف عنها ؟

لقد أدت هذه التساؤلات إلى إثارة الأنظار حول هذه العملية فجاء الجواب على يد الجيولوجيين الذين أكدوا بان هذه السلاحف قد ورثت ذلك عن أسلافها الأوائل ، حيث استخدمت أسلافها جزر وسط المحيط والتي كانت اقرب يوم ذاك إلى الساحل عن وقتنا الحالي كمأوى لها ولصغارها محافظة منها على نوعها واستمرار بقائها[٢١] ، والشكل (٣) يوضح ذلك :

شكل رقم (٣)
تكون وزحف المتشكلة فوق مرتفع وسط المحيط الآخذ بالانفراج المستمر خلال الجزر الأزمنة الجيولوجية المختلفة



المصدر : : دون ل. آيكر و أ. لي ماك اليستر : تاريخ الأرض ، ترجمة د. البهلول علي اليعقوبي و د. عمر سليمان حمودة و د. مصطفى جمعة سالم ، معهد الإنماء العربي – بيروت ، لبنان ، ١٩٩٨ ، ص ٢٢١.

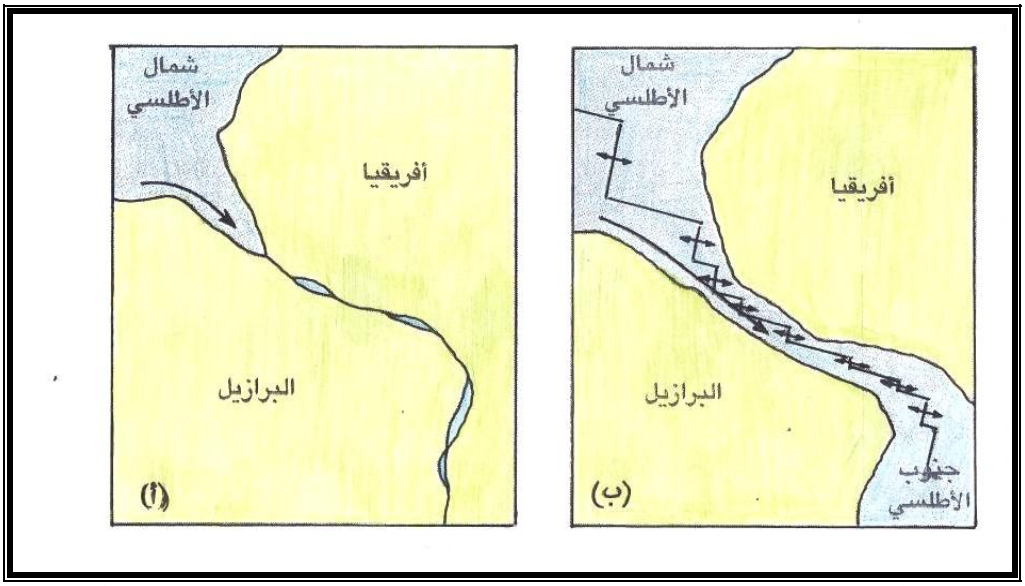
ويبدو إن أساس اعتقاد علماء الجيولوجيا هذا يرجع إلى إنهم قد عثروا على متحجرات (fossils) أسلاف هذه السلاحف الخضراء ضمن الطبقات الصخرية التي ترجع إلى حقب الحياة المتوسطة في البرازيل (أكثر من ١٠٠ مليون سنة مضت)، وبذا فان أسلاف السلاحف قد خبرت عملية الانتقال سباحة بين موطنها الأم ومواقع مضجعها حيث تضع بيوضها وعن طريق الساحل الشمالي للقارة الكبيرة غير المنفصلة آنذاك[٢٢] ، شكل(٣).

وعند حوالي ٨٠ مليون سنة مضت وتحديدا عند العصر الكريتاسي المتأخر حصل انفراج بين يابس الأجزاء الغربية لأفريقيا عن يابس الأجزاء الشرقية لأمريكا الجنوبية ، فانفتح حيز محيط ضيق بين البرازيل وغرب أفريقيا وكان ذلك الحيز الضيق يمثل بداية ظهور المحيط الأطلسي[٢٣] ، يبدو انه ومع ذلك الانفراج وجدت جزر صغيرة تقع بين اليابس الأفريقي والبرازيلي توجهت إليه أسلاف السلاحف واتخذته ملجأ لها ، إلا إن استمرار عملية الانفراج وتوسع حيز المحيط أدت إلى ازدياد ابتعاد تلك الجزر عن الساحل البرازيلي كما إن من الممكن إن تكون الجزر التي ظهرت أولا قد غمرت بالمياه وظهرت جزر وسط الحيز الآخذ بالاتساع بدلا من الأولى ، لذا فقد اضطرت السلاحف إلى الزحف صوبها ولو لمسافة أطول مما عهدته في السابق ، عموما فعند حوالي ٧٠ مليون سنة مضت كانت أسلاف سلاحف مستعمرة اسينشن الحالية قد زحفت لمسافة تقدر بحوالي ٣٠٠ كم عن موطنها الأصلي شرقي البرازيل ، وحيث إن هذه المسافة قد امتدت لمسافة ابعد عندما نشأت جزر بركانية جديدة موزعة توزيعا غير منتظم مع استمرار توسع حيز المحيط وغرق الجزر الأقرب إلى الساحل البرازيلي ما أدى بدوره إلى استمرار زحف وإبحار السلاحف بصورة مستمرة إلى مسافات ابعد مما كان معهودا لها ، حتى استقرت في وقتنا الحالي نهاية رحلتها المستمرة عند سواحل جزيرة الاسينشن التي لا يزيد عمرها عن ٧ ملايين سنة والتي تبعد عن شواطئ البرازيل أكثر من ٢٠٠٠ كم[٢٤].

إن هذه الرحلة تضع حركة السلاحف الخضراء الحالية ضمن نظرية تحوي إطارا تطوريا يضم مراحل عدة تتدرج من الاختبار والتأقلم وتستمر لمدة زمنية طويلة جدا ، ووفقا لذلك فان السلاحف الحالية اكتسبت نمطا مسلكيا عن أسلافها التي كانت موجودة فوق شواطئ البرازيل لعشرات الملايين من السنين وقت كان المحيط الأطلسي أضيق مما هو عليه الآن ، حيث لم يكن يوجد أكثر من بحيرة داخلية مستطيلة وضيقة تفصل اليابس الإفريقي عن الأمريكي الجنوبي ، شكل (٤)

شكل (٤)

تطور مراحل الانفراج بين قارتي أفريقيا وأمريكا الجنوبية خلال التاريخ الجيولوجي للأرض



أ- يبين حركة السلاحف الخضراء على طول الساحل وذلك قبل نحو ٩٠مليون سنة مضت بغرض بلوغها بعض الجزر في المحيط بعيدا عن الساحل

ب- يبين تكون هذه الجزر بعد انفراج قارتي إفريقيا عن أمريكا الجنوبية وبداية ظهور المحيط الأطلسي

المصدر : دون ل. آيكر و أ. لي ماك اليستر : تاريخ الأرض ، ترجمة د. البهلول علي اليعقوبي و د. عمر سليمان حمودة و د. مصطفى جمعة سالم ، معهد الإنماء العربي – بيروت ، لبنان ، ١٩٩٨ ، ص ٢٢٠ .

ويجدر بالذكر إن نظرية تكتو نية أو حركية الألواح الصفائح قد قبلت عالميا ، ليس لأنها استندت في إثبات صحتها ودقتها على حركة وهجرة السلاحف الخضراء ، بل لأنها اعتمدت على أدلة سبقت هذا الدليل الذي تم إيجازه في البحث ، إلا إن ما يميز هذا الدليل عما سبقه كونه قد ركز بدرجة كبيرة على عملية ربط الجانب الحياتي التطوري للكائنات الحية مع حالة التطور الشكلي لسطح الأرض (المورفولوجي) وكذلك الجيولوجي للأرض عموما في محاولة لتسليط الضوء على أهمية اعتماد أدلة مختلف الاختصاصات بحسب ارتباطها في رفد النظريات المتعلقة بتطور أشكال سطح الأرض وحتى باطن هذا الكوكب ، وبالتالي إيجاد أرضية مشتركة تجمع الكثير من الاختصاصات مع بعضها بطريقة مباشرة أم غير مباشرة ، وهو الأمر الذي يقود إلى الارتقاء بمثل هكذا أفكار من النظرية إلى حيز القاعدة العلمية الثابتة (القانون) .

الاستنتاجات :

من خلال الدراسة ظهرت مجموعة من الاستنتاجات أبرزها :

- اعتمدت النظرية في أطوارها الأولى على ما سبقها من أفكار علمية ، أبرزها (زحزحة القارات) و(توسع أو انتشار قاع المحيط) بالإضافة إلى (نظرية تيارات الحمل) كأساس علمي لها .

- لقد تم من خلال هذه النظرية إضافة الكثير من النقاط والدلائل العلمية التي جعلتها بالتالي مستقلة عن جملة الأفكار التي قامت بجمعها بداية عند ستينات القرن العشرين .
- ركزت النظرية في عملية تحديد حدود الألواح أو الصفائح للقشرة الأرضية على عدة نقاط أبرزها خرائط توزيعات البؤر الزلزالية والبراكين النشطة والخامدة المنتشرة على سطح الكوكب .
- تتابعت الأدلة العلمية الدقيقة التي أكدت صحة هذه النظرية منذ سبعينات القرن العشرين وحتى اليوم ، ومع كل دليل جديد داعم لصحتها ، فانه وفي الوقت نفسه سيكون داحضا في معظم الأحوال لأحد الدلائل التي حاولت نقضها فيما مضى .
- وفرت بدورها الخلفية الآلية لنشأة بعض العمليات الجيومورفولوجية الخارجية كاضطراب المنحدرات وتغير مجاري الأنهار وما نتج عن ذلك من ظاهرة تصابي أو إعادة شباب (Recognize) للعمليات الجيومورفولوجية .

التوصيات :

- نظرا لثبوت صحة هذه النظرية بدقة كبيرة فإنها تعد في الوقت الحاضر من القوانين المثبتة ، أي خروجها من نطاق النظرية إلى القانون .
- ضرورة الأخذ بالدراسات المتأتية عن مختلف الاختصاصات وتوظيفها بالتالي ضمن مجالات أخرى لها علاقة بها وان كانت غير مباشرة ، لما لذلك من أهمية في تسريع عملية الإثبات العلمي والحصول على دقة اكبر في النتائج ، كما في حالة دليل رحلة السلاحف الخضراء الذي يعد دليلا حياتيا – جغرافيا

الهوامش :

(١) سهل السنوي وآخرون : الجيولوجيا العامة الطبيعية والتاريخية ، ط ١ ، جامعة بغداد – بغداد ، ١٩٧٩ ، ص ٤٠٥ .

(2)Jean Dercourt and Jacques Paquest : Geology (Principles and Metods by) published Graham and Trotman , London, 1985,pp: 139 .

(3) Ibid ; p: 145

(٤) دون ل. آيكر و أ. لي ماك اليستر : تاريخ الارض ، ترجمة د. البهلول علي اليعقوبي و د. عمر سليمان حمودة و د. مصطفى جمعة سالم ، معهد الإنماء العربي – بيروت ، لبنان ، ١٩٩٨ ، ص ٢٠٣ .

(5)G.Tyler Miller, JR. : Living in the Environment, Thirteen Edition , Thoson Learning printed , Canada, 2004, pp: 205 .

** إن مصطلح (Asthenosphere) مشتق من الكلمة الإغريقية القديمة (Asthenes) والتي تعني الضعف أو الوهن .

(6)James H.Zumberge and others : Physical Geology, Eleventh Edition, published by Mc Graw-Hill, New York, USA, 2003, PP : 232 .

(7) Tyler Miller : Opcit ; p : 206

(8) Ibid ; p : 207

(٩) حسن رمضان سلامة : أصول الجيومورفولوجيا ، ط ١ – دار المسيرة للنشر والتوزيع والطباعة ، عمان-الأردن، ٢٠٠٤ ، ص ٣٤٢ .

(10)James H.Zumberge : Opcit; p : 232-234 .

(11)Okan Tuysuz : Dynamics of the Earth, Faults and Earthquakes, ITU Eurasian Institute of Science, Istanbul, Turkey,2001, pp: 1 .

(١٢) علاء التميمي : المخاطر الزلزالية في منطقة الخليج العربي ، محاضرة القيت في المنتدى الثقافي بتاريخ ٢٠٠٠/٢/١٨ _ الإمارات العربية المتحدة ، ص٢ / من شبكة المعلومات العالمية _ الانترنت
(١٣) ج.م ليس و ن. ل فالكون : التاريخ الجغرافي لسهول مابين النهرين ، ترجمة د. صالح احمد العلي ، مجلة الجمعية الجغرافية العراقية ، مطبعة العاني ، العدد الأول – السنة الأولى ، بغداد، ١٩٦٢ ، ص ٢٠٢ .
(١٤) علاء التميمي : مصدر سابق ، ص٥ .
(١٥) حسن رمضان سلامة ، مصدر سابق ، ص٣٤٧-٣٤٨ .
(١٦) روبرت ج. فوستر : الجيولوجيا العامة ، ترجمة د. عبد القادر عايد و د. شاكر رسمي المقبل و د. سعد حسن الباشا ، منشورات مجمع اللغة العربية الأردني – عمان ، ١٩٨٠ ، ص ٥٦٦ .
(17) G.Tyler Miller : Opcit ; p :206
(١٨) روبرت ج . فوستر : مصدر سابق ، ص٥٦٧ .
(١٩) المصدر نفسه : ص٥٦٧ .
(٢٠) دون ل . آيكر و أ. لي ماك اليستر : مصدر سابق ، ص ٢١٨
(٢١) المصدر نفسه ، ص٢١٩
(٢٢) المصدر نفسه ، ص٢٢٠
(٢٣) J . J . فلين و R . A. ويس : أسرار حقب الحياة الوسطى في مدغشقر ، مجلة العلوم الأمريكية ، العدد (١٢٥) ، تعريب مؤسسة الكويت للتقدم العلمي ، المجلد ١٩ – العددان (٤-٥) ،٢٠٠٢،ص ٥٦.
(٢٤) دون ل. آيكر و أ. لي ماك اليستر ، مصدر سابق ، ص ٢٢٠

المصادر العربية :

١- ج . م ليس و ن. ل فالكون : التاريخ الجغرافي لسهول ما بين النهرين ، ترجمة د. صالح احمد العلي ، مجلة الجمعية الجغرافية العراقية ، مطبعة العاني ، العدد الأول _ السنة الأولى ، بغداد ، آب _ ١٩٦٢ .
٢- J.J. فلين و R . A. ويس : أسرار حقب الحياة الوسطى في مدغشقر ، مجلة العلوم الأمريكية ، تعريب مؤسسة الكويت للتقدم العلمي ، المجلد ١٩ – العددان (٤-٥) ، ٢٠٠٣ .
٣- حسن رمضان سلامة : أصول الجيومورفولوجيا ، ط ١ – دار المسيرة للنشر والتوزيع والطباعة ، عمان- الأردن، ٢٠٠٤ .
٤- دون ل . أيكر و ا . لي ماك اليستر : تاريخ الأرض ، تعريب د. البهلول علي اليعقوبي وعمر سليمان ومصطفى جمعة ، ط ١ ، معهد الإنماء العربي ، بيروت ، لبنان ، ١٩٩٨ .
٥- روبرت ج. فوستر : الجيولوجيا العامة ، ترجمة د. عبد القادر عايد و د. شاكر رسمي المقبل و د. سعد حسن الباشا ، منشورات مجمع اللغة العربية الأردني – عمان ، ١٩٨٠
٦- سهل السنوي ويحيى الراوي واحمد النجدي ومحمد سوادي ونضير الأنصاري : الجيولوجيا العامة الطبيعية والتاريخية ، ط ١، جامعة بغداد ، بغداد ، ١٩٧٩ .
٧- علاء التميمي : المخاطر الزلزالية في منطقة الخليج العربي ، محاضرة ألقيت في المنتدى الثقافي بتاريخ ٢٠٠٠/٢/١٨ _ الإمارات العربية المتحدة ، ص / من شبكة المعلومات العالمية _ الانترنت.

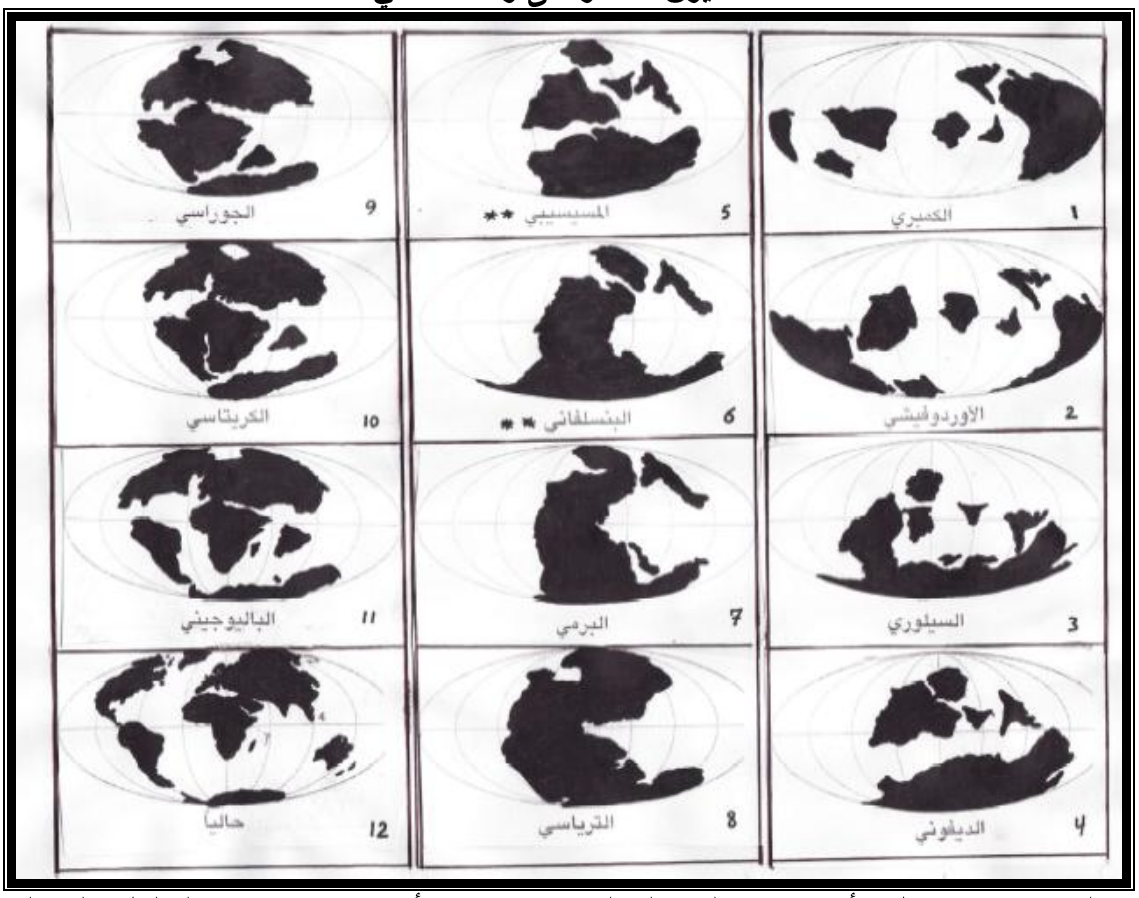
المصادر الاجنبية :

1-G.Tyler Miller, JR. : Living in the Environment, Thirteen Edition,Thoson Learning printed , Canada, 2004.
2- James H.Zumberge and others : Physical Geology, Eleventh Edition, published by Mc Graw-Hill, New York, USA, 2003

3- Jean Dercourt and Jacques Paquest : Geology (Principles by Graham Methods) Published and Trotman , London, 1985
4-Okan Tuysuz : Dynamics of the Earth, Faults and Earthquakes, ITU Eurasian Institute of Science, Istanbul, Turkey,2001.

الملاحق :

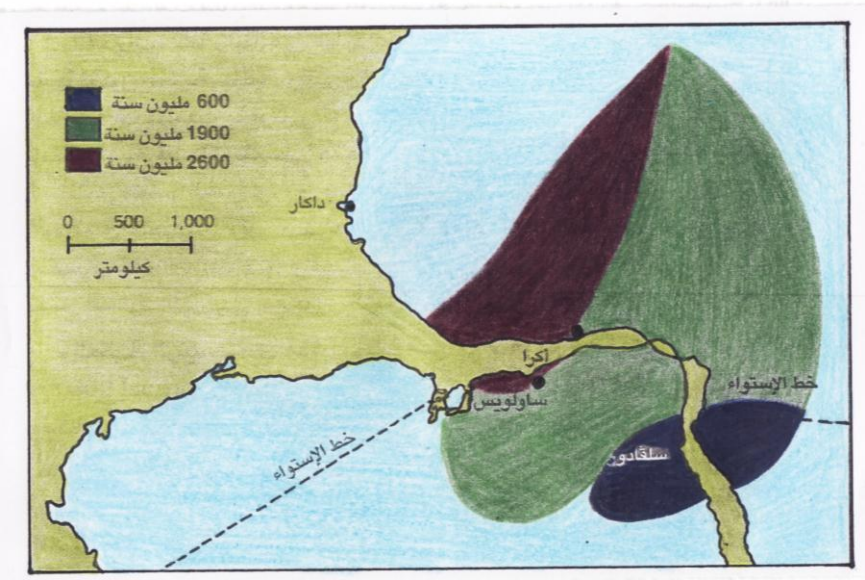
شكل (١)
يوضح شكل اليابس خلال الأزمنة الجيولوجية الممتدة منذ عصر الكامبري قبل أكثر من (٦٠٠) مليون سنة وحتى وقتنا الحالي



المصدر : دون ل . أيكر و ا . لي ماك اليستر : تاريخ الأرض ، تعريب د. البهلول علي اليعقوبي وعمر سليمان ومصطفى جمعة ، ط ١ ، معهد الإنماء العربي ، بيروت ، لبنان ، ١٩٩٨ ، ص ٤٥٦ .

** يمثل هذان العصران الجيولوجيان مجتمعان (العصر الفحمي أو الكربوني) في معظم المصادر الأقدم

شكل (٢)
يبين تطابق الصخور القديمة بين قارتي أفريقيا وأمريكا الجنوبية



المصدر : دون ل . أيكر و ا . لي ماك اليستر : تاريخ الأرض ، تعريب د. البهلول علي اليعقوبي وعمر سليمان ومصطفى جمعة ، ط ١ ، معهد الإنماء العربي ، بيروت ، لبنان ، ١٩٩٨ ،ص٢٢٣ .