الإستكشاف المغناطيسي

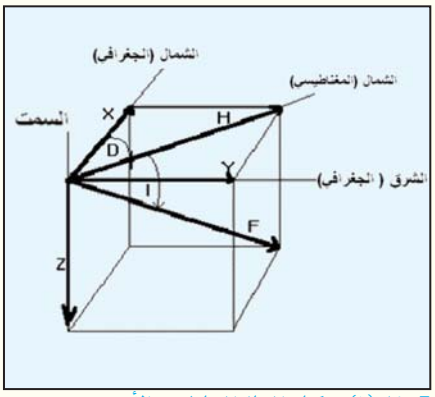
أ.د.محمد مصطفى غباشي

كان الفيلسوف الإغريقي تالاس - في القرن السادس قبل الميلاد- صاحب أول ملاحظة عن المغناطيسية والمغناطيس، وتبعه الصينيون حينما ابتكروا البوصلة المغناطيسية حوالي عام ١١٠٠ م، ثم الأوروبيون عام ١١٨٧م، والعرب في عام ١٢٢٠م. هناك بعض الآراء التي تُرجح استخدام الصينيين للحجر المغناطيسي في التوجيه الملاحي - المعروف باسم «لودستون»- والإبحار بواسطته من الساحل الشرقي للهند للمرة الأولى عام ١٠١ م.

يعد السير **ويليام جلبرت** أول من استخدام المغناطيسية في البحث عن الثروات الأرضية حيث ألف كتابه «المغناطيس» والذي أرجع فيه مغناطيسية الأرض إلى وجود مغناطيس دائم وقوي بداخلها، وأن قطبيه الشمالي والجنوبي متطابقان تقريباً مع محور دوران الأرض . ومنذ ذلك التاريخ تطورت طريقة البحث، وظهرت العديد من الأجهزة القادرة على قياس المجال المغناطيسي للأرض، ومن ثم استخدام ذلك – مع بدايات القرن التاسع عشر الميلادي – في الكشف عن الثروات الأرضية ذات الخواص المغناطيسية.

الأساس العلمي للطريقة

تعتمد الطريقة المغناطيسية على خاصية التمغنط لبعض الصخور، أي إنها تنشئ حولها مجالاً مغناطيسياً يمكن من خلاله التعرف على نوعية وطبيعة الصخر الموجود تحت سطح الأرض والمسبب لهذا المجال.

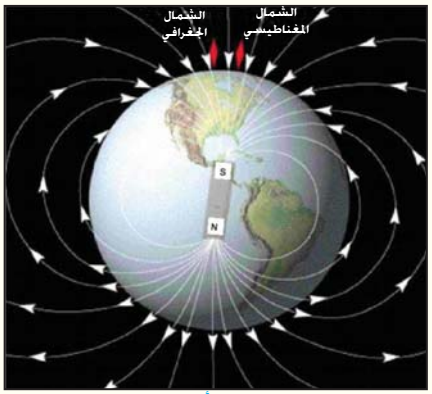


■ شكل (١) مركبات المجال المغناطيسي الأرضي.

حاول العلماء تفسير ظاهرة المجال المغناطيسي الأرضي، من خلال دراسته وتحليله إلى سبعة مركبات هي F. H. I. D. Z. Y. X، شكل(١)، وتمثل المركبة F – محصلة المركبتين الأفقية H والرأسية Z وتصنع زاوية تسمى زاوية الميل (I) مع المركبة (H) – متجه المجال المغناطيسي الأرضي، وتمثل نفس اتجاه الإبرة المغناطيسية إذا ما عُلِّقت و تُركت حرة تتذبذب. وبدراسة هذه المركبات ورسم الخرائط لها أمكن التعرف بدقة على مجال الأرض المغناطيسي، وبالتالي دراسة المجالات المغناطيسية للقشرة الأرضية، وما ينتج عن صخورها من مجالات أخرى، فضلا عن المجالات الخارجية المؤثرة عليها.

لو فرضنا وجود قضيب مغناطيسي (أي ما يطلق عليه ثنائي القطب) يمثل مغناطيسية الأرض يصنع زاوية مقدارها ١١,٤درجة مع محور دوران الأرض، ويمر بمركزها، نجد أن القطب المغناطيسي الجنوبي للقضيب – الذي يشير إليه القطب الشمالي للإبرة المغناطيسية – يقع عند خط عرض ٧٨,٥ درجة شمالاً وخط طول ٢٩١ درجة شرقاً، بينما القطب الشمالي المغناطيسي له يجب أن يقع عكسه تماماً عند ٧٨,٥ درجة جنوباً و خط طول ١١١ درجة شرقاً.

ومن دراسة خرائط المجال المغناطيسي المرجعي (International Geomagnetic Reference Field-IGRF)، وجد أن القطب الشمالي الأرضي يقع عند خط عرض ٧٨,٣ درجة شمالاً، وخط طول٢٥٦ درجة شرقاً. أما بالنسبة للجنوبي فيقع عند خط عرض ٦٥,٥ درجة جنوباً وطول ١٣٩,١ درجة شرقاً، وبذلك لا يقع الموقعان عكس بعضهما تماماً؛ مما يدل على أن مركز ثنائي القطب، شكل(٢) لا ينطبق تماماً على مركز الأرض، أي أنه غير مركزي بعض الشيء، ولكنه يعد نموذج



■ شكل (٢) المجال المغناطيسي للأرض كما يمثله ثنائي القطب.

يمثل- إلى حد ما - المجال المغناطيسي للأرض بدرجة كبيرة.

المجال المغناطيسي الأرضي

يتكون المجال المغناطيسي الأرضي - المقاس على سطح الأرض - من جزأين رئيسيين أحدهما ينشأ من داخل الأرض، ويمثل حوالي ٩٠٪ أو أكثر من قيمة المجال ، بينما ينشأ الجزء الآخر الخارجي - يشكل حوالي ١٠٪ أو أقل - من مجالات كهربائية في الغلاف الهوائي المتأين المحيط بالأرض، وهو مجال ثنائي القطب. تتراوح شدة المجال المغناطيسي الكلي للأرض بين ٢٥٠٠٠ نانو تسلا (على خط الاستواء) إلى ٧٥٠٠٠ نانو تسلا (عند القطب).

يتم قياس القيمة المطلقة – وليس معدل التغير – لشدة المجال المغناطيسي الأرضي واتجاهه في كل أقطار العالم حيث ترسل كل هذه البيانات المغناطيسية إلى مراكز التجميع الدولية التي تقوم بتجميعها في خرائط مغناطيسية تمثل العالم كله، وتسمى بخرائط المجال المغناطيسي المرجعي الدولي (International Geomagnetic Reference Field- IGRF).

أجهزة المسح المغناطيسي

تقاس شدة المجال المغناطيسي للأرض بطريقتين هما:

● **الموازنة بمجال آخر**

تعتمد هذه الطريقة على موازنة المجال المغناطيسي الأرضي بمجال آخر صناعي، يساويه في المقدار، ويعاكسه في الاتجاه، بحيث تكون محصلتهما صفراً، وبمعنى آخر توضح هذه الأجهزة كيفية قياس قوة ما عن طريق وزنها بقوة أخرى مساوية لها في المقدار مثل أي ميزان يستخدم في حياتنا اليومية. تعتمد هذه الأجهزة على التوازن الميكانيكي، وتسمى الأجهزة ذات النظام الميكانيكي، والتي يمكن بواسطتها قياس القيمة المطلقة والنسبية للمجال المغناطيسي. ومن أهم هذه الأجهزة جهاز الاتزان المغناطيسي الصفري (Magnetic zero balance)، الذي يقيس القيمة المطلقة للمركبة الأفقية H. ومن الجدير بالذكر أن هذه الأجهزة الميكانيكية لم تعد تستخدم كثيرًا بعد استخدام الأجهزة الإلكترونية.

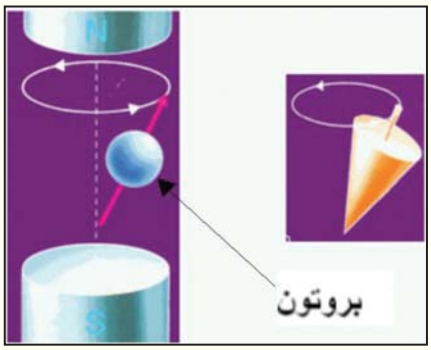
● **الأجهزة الإلكترونية**

تعتمد الأجهزة الإلكترونية على تحويل المجال المغناطيسي المقاس إلى إشارة كهربائية يتم تكبيرها وقراءتها بواسطة مجموعة من الدوائر الإلكترونية، وتقيس هذه الأجهزة القيمة المطلقة للمجال المغناطيسي، ومن خلالها يمكن قياس المجال المغناطيسي الكلي أو مركباته، أومعدل التغير في هذا المجال.

أحدثت الأجهزة الإلكترونية ثورة في علم القياسات المغناطيسية؛ لأنها تعطي قراءة مباشرة وسريعة تحت كل الظروف، كما يمكن حملها في الطائرات والسفن، فضلاً عن حساسيتها العالية التي تتراوح من ١و٠ إلى ١٠٠ و٠ نانو تسلا (وحدة قياس المجال المغناطيسي الأرضي)، مما يمكنها من اكتشاف المواد منخفضة التمغنط أو صغيرة الحجم، ومن أهم الأجهزة الإلكترونية نوعان هما:

■ **مغناطومتر بوابة الفيض (Flux Gate magnetometer)**: وكان له أثر فعّال في الحرب العالمية الثانية، حيث تم استخدامه كأداة للبحث عن الغواصات. وقد طور علماء المحيطات هذا النوع من الأجهزة واستخدموه في عام ١٩٤٨م بعد ربطه بالطائرات والسفن العملاقة لإجراء مسوحات مغناطيسية بحرية في بعدين (2- dimensional)؛ مما أدى إلى اكتشاف ما يعرف بالشذات المغناطيسية ذات الشكل الطولي (الشرائح المغناطيسية) المميزة لقيعان المحيطات والمرتبطة بظاهرة اتساع قيعان المحيطات والبحار، فضلا عن تحديد الانقلابات في اتجاه المجال المغناطيسي (Magnetic polarity reversals)، الذي يتغير خلال الأزمنة الجيولوجية المتتابعة من اتجاه إلى آخر.

■ **المغناطوميتر البروتوني (Proton Magnetometer)**: ويعتمد في نظرية عمله على حقيقة احتواء النواة في أي مادة على بروتونات موجبة الشحنة، تدور دوراناً مغزلياً حول خطوط المجال المغناطيسي الموجود حالياً- تسلك بذلك سلوك ثنائية القطب المغناطيسي - مكونة عزوم ثنائية القطب ذات اتجاهين متضادين، بحيث تكون محصلتهما



■ شكل (٣) الحركة المغزلية للبروتون – المغناطومتر البروتوني.

صفراً شكل(٣). وتوضيحا لذلك عندما تحاط زجاجة بها كمية من الماء المقطر - يحتوي على بروتونات الهيدروجين- بملف محوري يحمل تيارا كهربائياً ومتعامد على اتجاه المجال المغناطيسي الأرضي بحيث ينتج عنه مجالاً مغناطيسياً أعلى بمائة مرة عن المجال الأرضي، فإن عزوم هذه البروتونات تتوحد في اتجاه هذا المجال الخارجي، وعند قطع هذا المجال فإن البروتونات ستدور دوراناً مغزلياً حول خطوط قوى المجال المغناطيسي الأرضي بتردد يتناسب طردياً مع شدة المجال؛ و بالتالي يمكن تعيين هذا المجال بدقة متناهية.

■ **مغناطوميتر الضخ الضوئي (Optical pumping magnetometer)**: ويستخدم عادةً خاصية بخار السيزيوم، ولذلك يسمى هذا الجهاز بمغناطوميتر بخار السزيوم، ويتميز بدرجة حساسية فائقة . تعتمد فكرة عمل هذا الجهاز على تغير شفافية بخار عنصر السزيوم – داخل خلية زجاجية اسطوانية مفرغة جزئياً- المستخدم تبعاً لتغير شدة المجال المغناطيسي الخارجي المؤثر عليه، وتقاس درجة هذه الشفافية بشدة التيار الكهربائي الناتج من سقوط الضوء على خلية ضوئية، حيث تقاس شدة المجال المغناطيسي الخارجي بمقدار الطاقة المسجلة بالخلية الضوئية.

المسح المغناطيسي

يجري المسح المغناطيسي لأغراض متعددة وبطرق مختلفة، حيث تتم هذه القياسات إما على سطح اليابسة أو بالطائرات من الجو أو بالسفن والقوارب في البحار والمسطحات المائية، وربما من

■ شكل (٤) القمر الاصطناعي (CHAPM) في مداره حول الأرض.

خارج غلاف الأرض، وكذلك من مدارات الأقمار الاصطناعية المختلفة مثل القمر الاصطناعي الألماني للأبحاث والمعروف باسم (CHAMP)، والذي أطلق في عام ٢٠٠٠م شكل(٤)، و استمر منذ ذلك الوقت ولعدة سنوات بتسجيل المجال المغناطيسي والتثاقلي للأرض.

هناك عدة طرق للمسح المغناطيسي هي:

● **المسح المغناطيسي الأرضي**

تجري هذه القياسات بأجهزة خاصة - مثل المغناطومترات البروتونية ومغناطومترات الضخ البصري - بعد معايرتها وتقييمها في المراصد المغناطيسية المختلفة بالبلدان لقياس القيم المطلقة – وليس معدل التغير- لمركبات المجال المغناطيسي الأرضي، وتجرى هذه القياسات على شبكة الطرق والمدقات والصحارى، مع حساب المسافة بين محطات القياس على أساس الدقة المطلوبة. وفضلا عن ذلك فإنه يجب تصحيح تغيرات المجال المغناطيسي طويلة الأمد إذا طالت مدة المسح المغناطيسي لسنوات (كإجراء المسح على مستوى القطر) .

يتم إجراء المسح المغناطيسي الأرضي (Ground magnetic survey) لعدة أغراض أهمها :

■ **رسم الخرائط العيارية:** ويتم إعدادها لأي بلد من البلدان وذلك لهدفين هما:

- فهم توزيع المجال المغناطيسي، ومعرفة الشذات الإقليمية، واتخاذه كمرجع أساسي لإجراء المسوحات المغناطيسية المحلية للبحث عن الركاز، وفهم تراكيب صخور القاع.
- مجالات فيزياء الأرض: بهدف رسم خرائط المجال العياري للعالم، ومقارنتها مع مجال ثنائي القطب (Dipole field) المحدد رياضياً، مع فصل الجزء الذي لا ينطبق على هذا التقريب والمعروف بلا ثنائي القطب (Non Dipole field).

■ **البحث والتنقيب:** حيث تتم المسوحات على الأرض للتنقيب عن الركاز، والبحث عن مكامن الهيدروكربونات، ودراسة تراكيب الصخور وخاصة صخور القاع، والكشف عن الأجسام الصغيرة في الأغراض المدنية والعسكرية، واستخدامات الآثار. ويتم القياس بصفة عامة إما على هيئة خطوط أو خرائط ثلاثية الأبعاد (تعطي صورة أوضح للتراكيب البنائية تحت السطحية).

● **المسح المغناطيسي البحري**

يتم هذا المسح بواسطة السفن والقوارب على جميع المسطحات المائية المعروفة، من بحار وأنهار ومحيطات، وحتى في القارتين المتجمدتين- بنفس الأجهزة المذكورة أعلاه – مع وضع رأس الجهاز في صندوق صغير يسحب بواسطة كابل- خلف السفينة- يتراوح طوله ما بين ٣٠-٣٠٠ متر لكي يكون بعيداً عن تأثير جسم السفينة الذي عادةً ما يحتوي على أجسام معدنية حديدية قد تؤثر على القراءة.

● **المسح المغناطيسي الجوي**

يتم المسح المغناطيسي الجوي باستخدام المغناطوميتر البروتوني أومغناطومتر الضخ البصري، وذلك بتعليقه في كابل يتدلى بعيداً عن جسم الطائرة لتفادي تأثير مكونات جسمها وما تحمله من أجهزة علميه، شكل (٥). تطير الطائرة في هذا المسح بسرعة منتظمة، مع استخدام تقنية دقيقة لتحديد مواقع مكان نقاط القياس بدقة متناهية، ومن ثم تسجيل القياسات على أجهزة حاسبات لاستخدامها فيما بعد.

تباينت دقة المسح المغناطيسي الجوي – منذ بدايته - ليس فقط نتيجة للدقة في تحديد المواقع باستخدام أنظمة المواقع الجغرافية (Geographic Position System- GPS) ولكن على أساس ارتفاع الطائرة عن الأرض، حيث يتراوح ارتفاعها في المسح الدقيق النموذجي ما بين ٨٠-١٥٠ متراً مع مسافة فاصلة بين الخطوط تتراوح مابين ٢٥٠ إلى ٥٠٠ متراً، إلا أنه في بعض الأحيان يصل ارتفاعها إلى ٣٠-٤٠ متراً فقط عن سطح الأرض، وعلى خطوط مسح تبعد عن بعضها البعض بحوالي ٢٠٠ متر، كما قامت بذلك هيئة المساحة الجيولوجية الفنلندية.

■ شكل (٥) المسح المغناطيسي الجوي باستخدام طائره هليكوبتر.

معالجة البيانات المغناطيسية

تجري معالجة البيانات المغناطيسية بعدة خطوات، هي كما يلي:

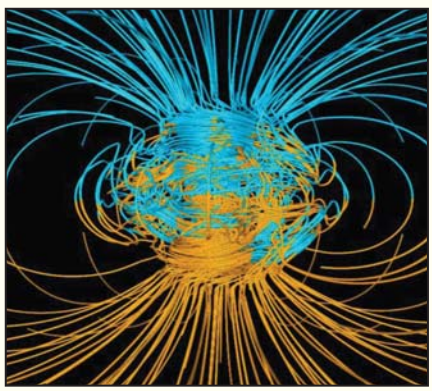
● **إزالة تأثير المجال المغناطيسي المرجعي الدولي**

تتم إزالة تأثير هذا المجال بطرح قيمته من جميع البيانات المغناطيسية المقاسة في منطقة المسح الأرضي، وذلك لأن المطلوب من المسح هو قياس معدل تغير المجال من نقطة إلى أخرى- وليس القيمة الكلية للمجال - وهي قيم صغيرة نسبيا يتم استخدامها في عمليات المعالجة والتفسير.

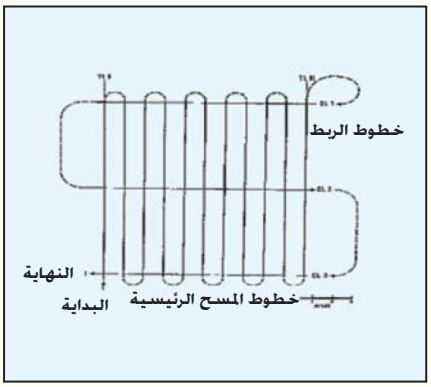
تتم إزالة المجال المرجعي باستخدام التحليل الهارموني الكُروي (Spherical harmonic analysis). الذي يوجد له عدة نماذج منذ إنشائه عام ٢٠٠٥م، شكل(٦) حتى وصلنا إلى نموذج دقيق، أطلق عليه الجيل الحادي عشر من المجال الإقليمي المرجعي.

● **إزالة ثابت الوقت**

يتم إزالة ثابت الوقت باستخدام محطة قياس ثابتة أو أكثر لقياس تغيرات المجال الأرضي مع الوقت، و بطرح هذه القيم المقاسة - في مكان ثابت - من قيم الأجهزة المغناطيسية



■ شكل (٦) محاكاة للمجال لمغناطيسي الأرضي ومنه يتم حساب IGRF.



■ شكل (٧) ضبط اتزان المسح المغناطيسي.

المتحركة يمكن إزالة تأثير الوقت، بمعنى أن جميع القراءات كأنها مقاسة في نفس التوقيت.

● **ضبط اتزان المسح المغناطيسي**

يتم ضبط اتزان المسح المغناطيسي بعدة خطوط ربط بين خطوط المسح الرئيسية بحيث تتوحد قيم المجال المغناطيسي لخطوط الربط مع قيم الخطوط الرئيسية للمسح المغناطيسي عند نقطة الالتقاء، شكل (٧).

● **إزالة تأثير التشويش**

تؤدي الإنشاءات القريبة من خطوط المسح المغناطيسي – قد تحتوي على حديد مثل خطوط المياه والبترول والكهرباء والمباني والحوائط والأسوار والسيارات و خطوط السكك الحديدية وما إلى ذلك – إلى حدوث شذات مغناطيسية قوية تصل شدتها إلى عشرات بل مئات من النانوتسلا. تعد هذه الشذات – غالبا – أكبر بكثير من الشذات الناتجة عن الأجسام الجيولوجية التي تمثل الهدف الأساسي للمسح المغناطيسي. وبإزالة هذا التشويش – بواسطة معالجة البيانات – تتحسن صورة المجال المغناطيسي المقاس، ومن ثم يمكن تفسيره والحصول على مواصفات الأجسام المسببة له.

■ **الشبكية (Gridding)**: وتنتج من زيادة كثافة عدد القياسات على امتداد خطوط الطيران الطولية عنها في الخطوط العمودية عليها (خطوط الربط) ؛ مما يؤدي إلى عدم تجانس القياسات في كلا الاتجاهين، ويترتب عليه ظهور أخطاء عند عمل الشبكية عن طريق ما يسمى باستكمال الفراغات (Interpolation). حاول الباحثون حل هذه المشكلة عن طريق العديد من النظريات الرياضية، كانت أولها طريقة الاستكمال ثنائي الاتجاه، ثم طريقة التحدب الأدنى، والتي كانت أكثرهم انتشارا. ثم استخدام طريقة ريد، وهي عبارة عن تطوير للطريقتين السابقتين، وعلى الرغم من ذلك مازال هناك بعض الأخطاء البسيطة والمسماة بمسارات التعرجات (Cross-track aliasing) والتي تسجل في حالة استخدام طائرات من ذوات الجناحان في مسح مناطق ذات طبيعة جبلية. وحاليا ظهرت طريقة جديدة بواسطة **أوكونيل** وآخرون ،٢٠٠٥ للتغلب على ذلك الخطأ.

تفسير البيانات المغناطيسية

يشمل تفسير البيانات المغناطيسية جميع عمليات المعالجة منذ الحصول عليها من التسجيلات الأرضية أو الطائرات أو السفن حتى إنتاج الخرائط أو المقاطع الطولية.

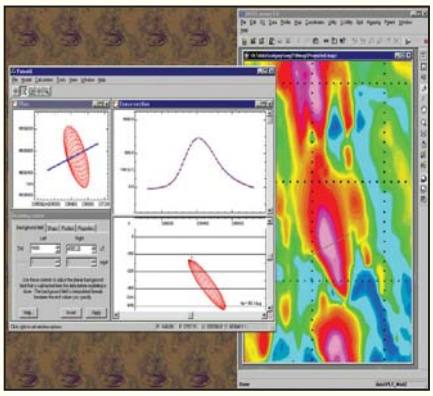
يتم تفسير البيانات المغناطيسية من خلال عدة تقنيات، هي:

● **الترشيح**

تبدأ عملية الترشيح (Filtering) بتطبيق عدة معادلات رياضية على البيانات المقاسة بهدف تقوية صورة الشاذة المغناطيسية وإظهارها مع الحصول على بعض المعلومات الأولية عن المصادر المحتملة لهذه الشاذة. لعبت الحاسبات الآلية دوراً أساسياً في تحسين طريقة العمل والسرعة في إنجازه، ومن هذه المرشحات: الفصل بين المركبة الإقليمية والمحلية، والاختزال للقطب (Reduction to the magnetic pole) ، وتحويلات التثاقلية الكاذبة، وحساب الاستمرارية العليا والسفلى (Upward and downward continuation) للمجال المغناطيسي، وحساب المشتقات المختلفة، واستخدام التحويلات المختلفة مثل **فورير وهيلبرت وميلان** وتحويل المويجة و غيرهما.

● **النمذجة المغناطيسية**

يتم استخدام النمذجة المغناطيسية (Magnetic modeling) لمعرفة طبيعة الأجسام المسببة للشذات المغناطيسية، من حيث عمقها ودرجة ميلها وكثافتها وقابليتها للتمغنط وامتدادها، فضلا عن المساعدة في رسم الإطار التركيبي (Structural framework) تحت السطحي لسطح صخور القاعدة بمنطقة المسح الجيوفيزيائي، وهناك نوعان من النمذجة هما:



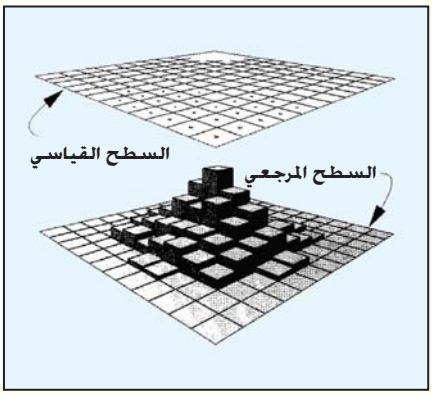
■ شكل (٨) إستخدام الحاسب الآلي لحساب التأثير المغناطيسي لأجسام نظرية بسيطة.

■ **نمذجة مباشرة(Forward model)**: وكانت تتم في البداية – قبل استخدام الحاسبات الإلكترونية – بواسطة المنحنيات المميزة لحساب الأجسام البسيطة كالكرة و الأسطوانة و الأجسام الإبرية وغيرها. وفي ستينيات القرن الماضي أطلق **تالواني و هيتزلر**، وآخرون طريقة حديثة لحساب الأجسام الأكثر تعقيداً في البعدين الثنائي و الثلاثي. وفضلا عن ذلك ظهرت طرائق مختلفة لحساب أجسام نظرية بالغة التعقيد، ساعدت في فهم العديد من الشذات المغناطيسية التي تلاحظ وتقاس على سطح الكرة الأرضية، شكل (٨).

■ **نمذجة عكسية (Inverse model)**: وتتم باستخدام طرق رياضية خاصة بعد تطبيق مثيلتها المباشرة، وذلك للحصول على جسم جيولوجي مماثل لما هو موجود تحت السطح و مسبب للشاذة المغناطيسية. هناك العديد من الطرق، منها على سبيل المثال لا الحصر: طرق تحديد العمق، مثل: **فيرنر ونايودي**، والإشارة التحليلية، وطريقة **أويلر**، وطريقة تصور عناصر المصدر، والطرق المبنية على طرق إحصائية، وطرق رسم خرائط الخواص الفيزيائية والقابلية المغناطيسية.

تبع ذلك استخدام مكثف لطرق عددية آلية تقوم ببناء نموذج يحاكي جيولوجية ما تحت السطح، وذلك من خلال قياسات المغناطيسية، وإدخال أي معلومات إضافية ربما تساعد على تحسين صورة هذا النموذج المبني رياضياً.

تعتمد الطرق الحديثة بصفة عامة على تخيل أن الأرض تتكون من مكعبات متراصة كل منها يمثل قابلية مغناطيسية محددة للمكان



■ شكل (٩) طرق عمل النمذجة العكسية ومحاكاة جيولوجية ماتحت السطح بتخيل أن الأرض تتكون من مكعبات متراصة.

الموجود به، وعند تصور التوزيعات المختلفة لهذه القابلية يمكن وضع تصور للجسم المسبب لهذه الشاذة، و يوضح الشكل (٩) أحد نماذج هذا التصور الرياضي.

أمثلة تطبيقية للاستكشاف المغناطيسي

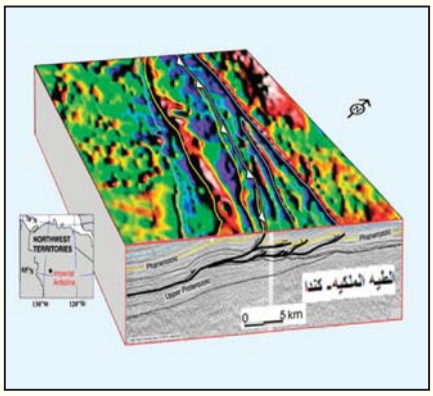
أسهمت طرق الاستكشاف المغناطيسي على مر السنوات في تنمية الجوانب الاقتصادية للإنسانية، إلى جانب المساهمة في حل العديد من المشكلات التي واجهها الإنسان، وفيما يلي بعض التطبيقات النموذجية للطرق المغناطيسية:

● استكشاف التراكيب الجيولوجية تحت السطحية

تستخدم البيانات المغناطيسية في رسم الملامح التركيبية الموجودة على سطح صخور القاعدة – التراكيب الجيولوجية داخل القطاع الرسوبي – مثل الطيات والصدوع والتحد بات والتقعرات والقباب الملحية والشروخ ومتداخلات الصخور النارية وغيرها، ومن أمثلة ذلك ما يلي:

■ **الطية الملكية- كندا:** وتمثل جزءاً من نظام الصدوع الدافعة(Thrust Faults) في الجزء الشمالي من كندا، وتتكون من رسوبيات من الفانيروزويك والبروتوزويك العلوي والتي طويت ودفعت خلال حقبة لارامايد فوق تتابع بروتوزوي، حيث أكدت الدراسات السيزمية وجود هذه الطية فوق تتابع صخري معقد.

أضاف المسح المغناطيسي الجوي للتفسير السيزمي رؤية واضحة في البعد الثلاثي لهذه المنطقة المعقدة جيولوجيا، وأمكن مضاهاة الشذات المغناطيسية بالتتابع الطبقي المستنتج



■ شكل (١٠) الطية الملكية -كندا- والتفسير المتكامل بين طرق المسح المغناطيسي والسيزمي.

من الطرق السيزمية شكل (١٠)، وذلك من خلال مسح مغناطيسي على ارتفاع ٢٠٠ متر والمتبقية كما أمكن استنتاج أن الشاذة المغناطيسية المتبقاة بعد إزالة تأثير الطبقات السفلى و البالغ مستواها حوالي ٣ نانوتسلا تتوافق مع طبقتين مغناطيسيتين متخللتين للتتابع الصخري من عصر الفانيروزويك.

■ **الشكل البنائي لمنطقة وادي ثُوَل:** حيث تم إجراء مسح مغناطيسي مفصل للمنطقة – تقع شمال مدينة جدة، السعودية – وذلك بهدف وضع تصور للتراكيب البنائية تحت السطحية بالمنطقة، وأثبتت خرائط المغناطيسية والمرشحات المختلفة – مثل تباينات الظل البارز – وجود اتجاهات بنائية وشاذات ذات خصائص مميزة بالمنطقة شكل (١١،١٢)، وقد تم رسم العديد من اتجاهات الصدوع المؤثرة على المنطقة، سواء السطحية منها أو المؤثرة على صخور القاعدة، مما أدى لأول مرة الكشف عن مسارات المياه الجوفية وتجمعاتها بالمنطقة.

● البحث عن الهيدروكربونات

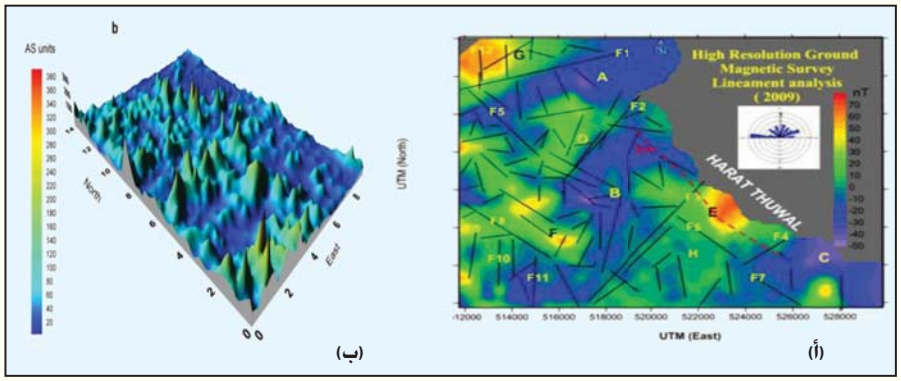
بدأ استخدام الاستكشاف المغناطيسي في

■ شكل (١١) المسح المغناطيسي لمنطقه وادي ثول – شمال جده- المملكه العربيه السعوديه.

البحث عن البترول منذ الحرب العالمية الثانية، وذلك لتحديد موقع، وامتداد، وسمك الأحواض الرسوبية في المناطق غير المستكشفة من خلال المعطيات والبيانات المغناطيسية المقاسة من الجو أو البحر كما أمكن رسم عمل خرائط للأعماق حتى قمم المتداخلات في صخور القاعدة. ويبين شكل (١٣) الخطوط الكنتورية لعمق صخور القاعدة فوق منطقة في أستراليا.تبين الخطوط الكنتورية وجود حوضين رسوبيين تحت الماء كانا يعدان من الأحواض المبشرة بوجود زيت البترول. يقع الحوض الأول على امتداد حوض أوتواي غير المنتج، وقد حدد موقعه مسبقاً عن طريق الحفر، أما الحوض الآخر يسمى الباس ستريت فلم يكن معلوما قبل المسح المغناطيسي. ومن خلال هذا المسح تم اكتشاف كميات هائلة من الغاز في الجزء الساحلي المغمور من حوض أوتواي .

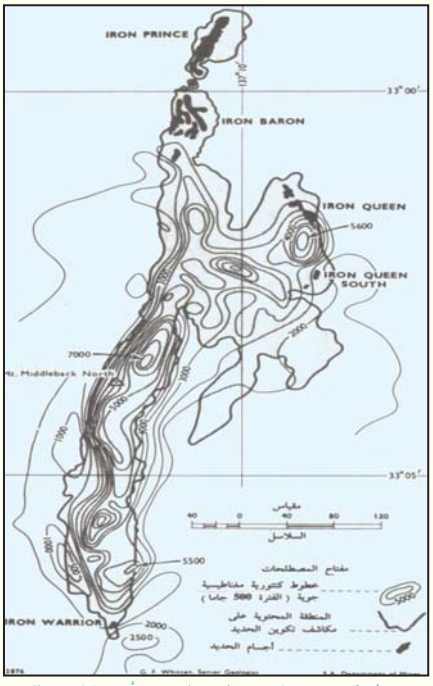
● البحث عن خام الحديد

تعد الصخور الرسوبية المصدر الرئيس لخام الحديد في العالم، حيث توجد الخامات – عموما – قريبة من الكتل المتداخلة والتي يستخرج



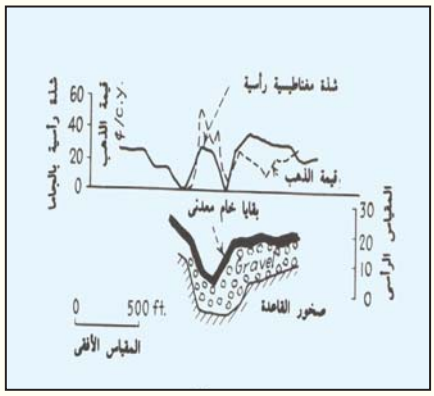
■ شكل (١٢) أ) تفسير المجال المغناطيسي وأماكن الصدوع المحتمله بمنطقه ثول. ب) شكل ثلاثي الأبعاد لتحليل المجل المغناطيسي بثول.

■ شكل (١٣) أعماق صخور القاعده في أحواض رسوبيه بجنوب أستراليا الناتجه من تفسير الخرائط المغناطيسيه بالمنطقه (من دوبرن ١٩٦٠).



■ شكل (١٤) الكشف عن خام الحديد فوق منطقه بجنوب أستراليا. لاحظ تطابق أماكن تواجد الحديد على السطح (الأماكن المظللة) وشكل الشاذة المغناطيسية المقاسه.

منهـا الحديـد، أومـن التجويـة(Weathering) للمكونات غـير الحديدية للمـادة النارية. تحتوي الخامات المرتبطة بالصخور النارية - غالبا - على نسبـه عالية من المجنيتيت- الهيماتيت، ويمكن أن تكتشف مباشرة عن طريق القياسات المغناطيسية. أما أجسـام الخام الهيماتيتـي فهي غير ممغنطة ولكـن يكشف عنهـا بربطهـا تكوينيـا بالتكوينات المحيطـة المحتوية على المجنيتيـت، ويستخدم هنا المسح المغناطيسي بطريقة غير مباشره. يبين شكل (١٤) الخطوط الكنتورية للمجال المغناطيسي فوق منطقـة بجنوب أسترالـيا، ويلاحظ تطابق المناطق المظللـة - أماكن تواجد الحديـد على السطح- مع



■ شكل (١٥) الشذة والمغناطيسية الرأسية المقاسه فوق خام الذهب عند بورتنج كريك- ألاسكا (من دوبرن ١٩٦٠).

الشذات المغناطيسية المقاسه.

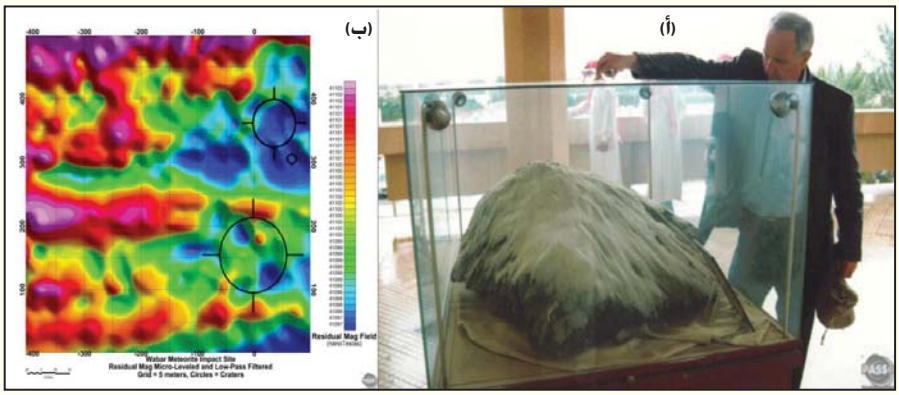
● البحث عن الذهب والألماس

تم استخدام الاستكشاف المغناطيسي بكثرة في ألاسـكا نظـراً للارتبـاط البـين بـين الذهب والمجنتيـت. ويوضـح شـكل (١٥) الارتبـاط بين القياسـات المغناطيسيـة وأماكـن تواجد الذهب فوق راسب غريني في منطقة بورتج كريك.

إلى جانب ذلك استخـدم المسح المغناطيسي في البحـث عن الألماس عن طريق ارتباط تواجده بخـام الكمبرليـت في مناطـق مختلفـة. وتمثـل المملكـة العربية السعودية أحـد الأماكن الواعدة لاستخدام هـذه التقنيات الحديثة في البحث عن المعادن النفيسة.

● أماكن ارتطامات النيازك بسطح الأرض

استخدم المختصون الاستكشاف المغناطيسي في التعـرف علـى أماكـن ارتطامـات النيـازك بسطـح الأرض، ولعل أشهر هـذه النيازك بشبه الجزيـرة العربية هو ذلك النيـزك الذي ارتطم بالأرض في منطقـه الربـع الخـالي بجنـوب المملكـة والمسمـى (Wabar Impact)، وقد لعب الاستكشـاف المغناطيسي دوراً مهمـاً في التحقق من أماكـن تواجد حطام النيـزك والتعرف على أجزائه المتناثرة . ويوضح شكل (١٦) القياسات المغناطيسية على منطقة ارتطام النيزك، ويوضح شكل (١٦ أ) ، أكبر جسم متبقي من النيزك بعد اكتشافه (Wynn, 2002). بينماتوضح الدائرتان الموجودتـان على الخريطـة المغناطيسيـة شكل (١٦ ب) أماكـن تواجد أكبر تركيز لجسم وبقايا النيزك المكون من النيكل والحديد.



■ شكل (١٦) (أ) بقايا النيزك في منطقه وابر-الربع الخالي، (ب) نتائج المسح المغناطيسي على منطقه ارتطام النيزك (وين،٢٠٠٢).

المراجـع

Al-Garni , M. A., and Gobashy, M.M., 2010: Ground magnetic investigation of subsurface structures affecting Wadi Thuwal area, KSA. Paper accepted for Publication, Journal of King Abdulaziz University, Earth Sciences.

Hassan, H. H., Peirce, J. W., 2005, SAUCE: A new technique to remove cultural noise from HRAM: The leading Edge, 24, 246-250

Maus, S., and Macmillan,S. 2005, 10th generation International Geomagnetic Reference Field : EOS Transactions of the American Geophysical Union, 86, 159.

Millegan, P. S., 1998: High resolution aeromagnetic surveying, in R. I., Gibson, and P.S. Millegan, eds., Geologic applications of gravity and magnetic: case histories: SEG and AAPG.

Reigber, C., Luehr, H, and Schwintzer, P, 2002: CHAMP mission status: Advances in space Research, 30, 289-293.

Talwani, M., and Heirtzler, 1964: Computation of magnetic anomalies caused by two –dimensional structures of arbitrary shape: Stanford University Publications of the Geological sciences, Computers in the Mineral Industries.

Telford, W. M., Geldart, L.P., and Sheriff, R. E., 1990: Applied geophysics, 2nd ed.: Cambridge University Press.