

دراسة الخواص المغناطيسية للرسوبيات الاصطناعية وعلاقتها بقيم الضغط الجاذبي للمواد الرسوبية

الدكتور لوئي محمد*

(تاريخ الإيداع 12 / 11 / 2007. قُبِلَ للنشر في 2008/1/8)

□ الملخص □

يعد علم المغناطيسية الأرضية (Geomagnetism) أحد أهم أقسام الجيوفيزياء الذي يدرس الحقل المغناطيسي الأرضي في الأزمنة القديمة والمعاصرة.

يطلق على دراسة الحقل المغناطيسي الأرضي (Geomagnetic field) في الأزمنة القديمة اسم الباليومغناطيسية (Paleomagnetism) أو المغناطيسية القديمة، ومن الركائز الأساسية التي يعتمد عليها هذا العلم هو دراسة مغناطيسية الصخور (Rock magnetism). وتعتمد هذه الدراسة بشكل أساسي على دراسة التمثغط الموجه للصخور J_{ro} الذي يتم باتجاه الحقل المغناطيسي الأرضي المطبق لحظة تشكل الصخر.

يبين هذا البحث طريقة جديدة لدراسة خواص الرسوبيات المغناطيسية، باستخدام نموذج الأحواض الرسوبية الاصطناعية المخبرية، وتقريب هذه الدراسة من الظروف الطبيعية لتشكل الصخور، التي ترتبط مع رص الرسوبيات أو الضغط الجاذبي للمواد الرسوبية، وخواصها المغناطيسية مثل: الحقل المغناطيسي المطبق H ، ومركبة التمثغط الموجه J_{ro} ، وميل مركبة التمثغط الموجه z ، والأنيزوتروبية المغناطيسية، وغيرها...

كلمات المفتاحية:

التمثغط الموجه، الرسوبيات الاصطناعية، زاوية ميل التمثغط.

*مدرس - قسم الفيزياء بكلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

A Study of Magnetic Properties of Synthetic Deposition as a Function of Their Gravity Pressure

Dr. L. Mohammad*

(Received 12 / 11 / 2007. Accepted 8/1/2008)

□ ABSTRACT □

Geomagnetism is considered an important branch of geophysics which deals with magnetic fields over ancient and recent eras. The study of geomagnetic field in the ancient era is called paleomagnetism, however, the basic idea of this science depends on studying rock magnetism. This paper basically depends on the concept of rock orientation magnetism J_{ro} , applied during the period of rock formation, geomagnetic field. This research demonstrates a new method to investigate magnetic properties of deposits using a model for studying the synthetically laboratory deposition basins. Then, we approximate these investigations to the natural conditions of rock formation which relate to the deposit packing or sediment gravity pressure and their magnetic properties, e.g., the applied magnetic field H – component of orientation magnetization J_{ro} - decline of orientation magnetization J – magnetic anisotropy, etc.

Keywords:

orientation magnetization, synthetic deposition, decline of orientation magnetization.

*Assistant Professor, Department of Physics, Faculty of Sciences, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

يعتمد علم دراسة مغناطيسية الصخور (Rock magnetism) على دراسة التمغنط الموجه (Orientation magnetization). وتعد الصخور الرسوبية (Sediment rock)، والصخور النارية (الاندفاعية) (Ingenious rocks)، من أهم الصخور التي يمكن أن يشير اتجاه تمغنطها إلى الاتجاه الحقيقي للحقل المغناطيسي الأرضي (Geomagnetic field) [1].

نعرف التمغنط الموجه، J_{ro} ، بأنه محصلة العزوم المغناطيسية m_i باتجاه الحقل المغناطيسي المطبق، أما بالنسبة للصخور الطبيعية فهو محصلة العزوم المغناطيسية (magnetic moments) باتجاه الحقل المغناطيسي الأرضي [1].

من أهم العوامل التي تؤدي إلى حصول التمغنط الموجه للصخور هو احتواء هذه الصخور على مواد مغناطيسية (magnetic materials) (جسيمات، أو حبيبات مغناطيسية) بنسب تتراوح بين 0.1% و 10% [1]. من أهم هذه المواد تلك المواد التي لها طواعية مغناطيسية، χ ، كبيرة جداً بالنسبة إلى الحقل المغناطيسي الأرضي. وتنتمي هذه المواد إلى المواد الحديدية التمغنط أو الفيرومغناطيسية (Ferromagnetism)، وأكثرها انتشاراً وشيوعاً في الصخور هي أكسيد الحديد المغناطيسي Fe_3O_4 (Magnetite) أو Fe_2O_3 (Hematite) [1,2].

توجد هذه المواد بشكل حبيبات مغناطيسية (جسيمات مغناطيسية) مقاسها من 0.5-30 μm . وقد تكون هذه الحبيبات متعددة الدومينات (المناطق المغناطيسية) أو وحيدة الدومين (Domains)؛ إذ بين العالمان Frankel و Heisenberg أنه عندما تكون العزوم المغناطيسية للإلكترونات متوازية باتجاه ومنحى معينين تنشأ هذه الدومينات، وفي حدود كل دومين تكون شدة التمغنط فيه متجانسة ومشبعة.

ومن أجل دومينات مختلفة يكون اتجاه هذه العزوم المغناطيسية مختلفة بحيث أنه في غياب الحقل المغناطيسي الخارجي يكون المجموع الجبري لهذه العزوم المغناطيسية مساوياً للصفر. يؤدي تأثير الحقل المغناطيسي غير المنتظم في هذه المواد الفيرومغناطيسية إلى تمغنطها على مرحلتين:

المرحلة الأولى: مرحلة الانزياح بين الدومينات. وهذه العملية عكسية بالنسبة لتوجه العزوم المغناطيسية باتجاه الحقل [1].

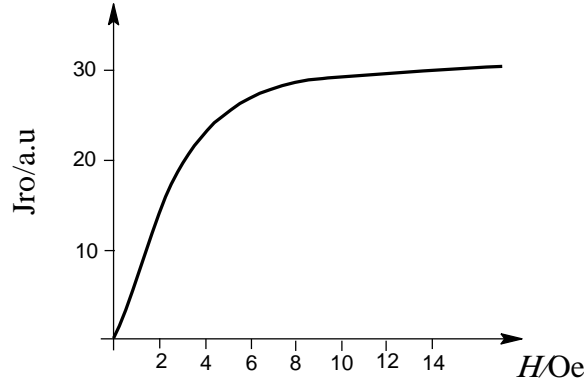
المرحلة الثانية: مرحلة الدوران للعزوم المغناطيسية في الدومينات باتجاه الحقل، وهذه العملية غير عكسية، وتتوجه جميع العزوم المغناطيسية باتجاه الحقل المطبق، ونحصل على حالة إشباع في التمغنط [1].

نحصل بوساطة هاتين المرحلتين على ما يسمى بدورة البطء المغناطيسي (Hysteresis loop).

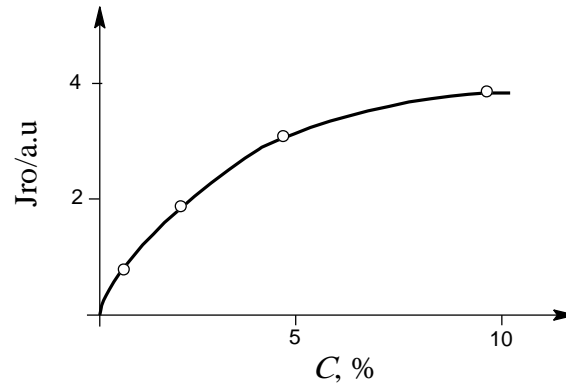
وتجدر الإشارة إلى أن التمغنط J هو عبارة عن مجموع العزوم المغناطيسية $\sum m_i$ في وحدة الحجم ΔV ، أي أن $J = \sum m_i / \Delta V$. ويتناسب هذا التمغنط عكساً مع درجة الحرارة. وعند درجة حرارة كيوري (Curie temperature) تفقد المواد الفيرومغناطيسية خواصها، وتتحول إلى مواد طردية التمغنط (بارامغناطيسية) (Paramagnetism).

تحصل عملية التمغنط الموجه في الصخور الرسوبية عند الدرجات العادية من الحرارة وفق المرحلتين السابقتين، وذلك بتوازن العزوم المغناطيسية باتجاه الحقل المغناطيسي الأرضي المطبق [3]. أما بالنسبة إلى الصخور النارية، فيحصل التمغنط بالطريقة نفسها إلا أنه يتم تبريد الصخرة من الدرجات العالية للحرارة، فوق درجة حرارة كيوري، إلى الدرجات العادية مع الحفاظ على المناطق التي تتواجد فيها الصخرة وتحت تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي [1].

- إن أول من درس ظاهرة التمعنط الموجه العالم جونسون Johnson مع معاونيه عام 1948، ثم قام خراموف Khramov ومعاونوه عام 1968 بمتابعة هذه الدراسة. يمكن تلخيص النتائج التي حصلوا عليها كما يلي [4]:
1. يتناسب التمعنط الموجه J_{ro} طردا مع قيمة الحقل المغناطيسي المطبق إذا كانت شدته ضعيفة، ويزيادة شدة الحقل تميل مركبة التمعنط J_{ro} إلى الإشباع، أي إلى القيمة J_{rs} كما هو موضح في الشكل 1.
 2. يتناسب التمعنط الموجه J_{ro} مع تركيز الجسيمات المغناطيسية المحتواة في الصخرة كما هو موضح في الشكل 2.



الشكل 1: علاقة التمعنط الموجه J_{ro} بتابعية الحقل المغناطيسي المطبق.



الشكل 2: علاقة التمعنط الموجه J_{ro} بتركيز الجسيمات المغناطيسية C .

3. في الأوساط المثالية المتجانسة يكون اتجاه مركبة التمعنط الموجه J_{ro} متطابقا تماما مع اتجاه الحقل المغناطيسي الأرضي المطبق H إلا أنه في الشروط الطبيعية غالبا ما يحدث انخفاض في زاوية ميل مركبة التمعنط الموجه j_o بالنسبة إلى زاوية ميل الحقل المغناطيسي الأرضي j (Inclination) نحو $30^\circ - 5^\circ$ ، وهذا ما يسمى خطأ ميل مركبة التمعنط الموجه للصخور δ_r بالنسبة إلى ميل الحقل المغناطيسي الأرضي؛ إذ يعبر عن الارتباط بين زاوية الميل لمركبة التمعنط الموجه j_o وزاوية الميل للحقل المغناطيسي الأرضي j [1,2,3,4,5] بالعلاقة الآتية:

$$tg j_o = f tg j \quad (1)$$

- إذ يمثل f ثابت يتعلق بأشكال الجسيمات المغناطيسية المحتواة في الصخرة، وتتأرجح قيمته بين 0.4 و 0.9. إذاً يعطى خطأ الميل δ بالعلاقة الآتية:

$$\delta = j - j_0 \quad (2)$$

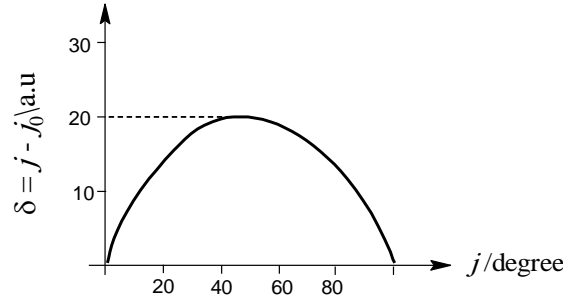
واستناداً إلى العلاقة (1) نجد أن:

$$\delta = \arcsin \left\{ \left(\frac{1-f}{f} \right) \cos j \sin j_0 \right\} \quad (3)$$

يوضح الشكل 3 العلاقة بين خطأ الميل δ وزاوية ميل j للحقل المغناطيسي المطبق. كما درس خراموف ومعاونوه، عام 1968 العامل الأساسي الذي يعيق توازن العزوم المغناطيسية للجسيمات المغناطيسية باتجاه الحقل المغناطيسي. وبيّن أن العامل الأساسي المعيق للتوازن هو الحركة البراونية الحرارية. إذن يجب إدخال مفهوم الطاقة الحرارية kT في العلاقة التي تصف حركة الجسيمات المغناطيسية، وبالتالي يعبر عن التمغنط الموجه J_{ro} الناتج عن هذه العملية بالعلاقة الآتية [4]:

$$J_{ro} = C \cdot J_{rm} \left(ch \kappa - \frac{1}{\kappa} \right) = J_{rm} CL(\kappa) \quad (4)$$

إذ يمثل $\kappa = mH / KT$ نسبة تركيز الطاقة المغناطيسية mH إلى الطاقة الحرارية KT ، والتي تصف لنا كم مرة تكبر الطاقة المغناطيسية mH الطاقة الحرارية KT . ويمثل J_{rm} تمغنط الحالة البدائية للجسيمات المغناطيسية في الرسوبيات، C تركيز الجسيمات المغناطيسية في الصخرة، $L(\kappa)$ تابع لانجفن (Langevin function).



الشكل 3: خطأ الميل بدلالة زاوية ميل الحقل المغناطيسي المطبق.

نجد من العلاقة (4) أن التمغنط الموجه J_{ro} يتناسب عكساً مع درجة الحرارة، وعندما $\kappa = 1$ ، أي عندما $mH = KT$ فإن J_{ro} يتناسب مع مربع تمغنط الحالة البدائية للجسيمات المغناطيسية في الرسوبيات. أما العالم ناغاتا Nagata فقد درس عملية التمغنط الموجه (1965)، وسمي النموذج الذي أنجزه بنموذج ناغاتا. إذ بحث في هذا النموذج مجموعة من الجسيمات المغناطيسية الكروية المتجانسة، والتمغنط بشكل حراري J_{rt} ، والمتمتعة بعزوم مغناطيسية m . في البداية يكون توجه هذه الجسيمات في أحواض الترسيب بشكل عشوائي. بعد ذلك يحدث توازن للعزوم المغناطيسية لهذه الجسيمات تحت تأثير الحقل المغناطيسي H بسبب وجود قوى لزوجة λ في وسط الترسيب. تنتهي عملية توجه العزوم المغناطيسية m في اللحظة الزمنية t لحظة سقوط جميع هذه الجسيمات في قاع وسط الترسيب. ويعطى التمغنط الموجه الناتج عن هذه العملية بالعلاقة الآتية [6,7]:

$$J_{ro} = C \cdot J_{rt} \cdot \text{th} \left(\frac{2mHt}{3\lambda} \right) \quad (5)$$

إذ تمثل J_{rt} القيمة المتوسطة للتمغنط الحراري للجسيمات المغناطيسية للمادة المترسبة، و C التركيز الحجمي لهذه الجسيمات في المادة المترسبة، و th الظل القطعي.

لقد تم تقسيم عملية التمغنط الموجه للصخور الرسوبية على مرحلتين أساسيتين:

المرحلة الأولى: مرحلة الترسيب DRM. في هذه المرحلة يتم تغيير في حجم الرسوبيات، أي يتم تناقص حجم الرسوبيات، بمعنى أن الرسوبيات لم تأخذ شكلها النهائي.

المرحلة الثانية: مرحلة ما بعد الترسيب PDRM. ويرمز للتمغنط المكتسب خلال هذه المرحلة بالرمز J_{rpd} . في هذه المرحلة تأخذ الرسوبيات شكلها النهائي، أي أن حجم الرسوبيات يبقى ثابتاً بدون أي تغيير.

يمثل التمغنط الموجه J_{ro} الناتج في كلتا المرحلتين المجموع الشعاعي للتمغنط \vec{J}_{rd} و \vec{J}_{rpd} ، أي أن:

$$\vec{J}_{ro} = \vec{J}_{rd} + \vec{J}_{rpd} \quad (6)$$

من النماذج التي اعتمدت على هذه الدراسات نموذج شاشكانوف (Shashkanov model) أو ما يسمى بنظرية الكلاستر (1990) (Theory of Clusters). في هذا النموذج يفترض أن العامل الأساسي الذي يعيق توازن الجسيمات المغناطيسية هو حقل التأثير المغناطيسي المتبادل بين الجسيمات المغناطيسية المترسبة والتمغنط الموجه الناتج عن هذه العملية. ويعطى هذا الأخير بالعلاقة الآتية [2,7]:

$$J_{ro} = 12\mu_0 \cdot C_1 \left(\frac{H_{BZ}}{N_d} \right) L \left(\frac{H}{H_{BZ}} \right) \quad (7)$$

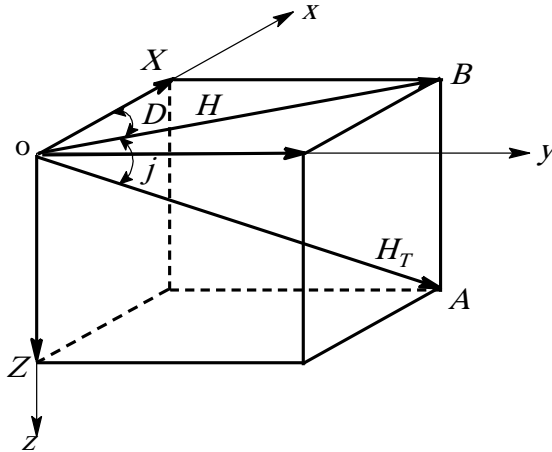
إذ تمثل $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H/m$ النفوذية المغناطيسية في الخلاء، C_1 تركيز الجسيمات المغناطيسية في الكلاستر الموجود في المادة المترسبة، H_{BZ} حقل التأثير المتبادل بين الجسيمات المغناطيسية، و N_d عامل فقدان التمغنط، و $L(H/H_{BZ})$ تابع لانجغن.

تفترض نظرية الكلاستر أن جميع الجسيمات المغناطيسية في المادة المترسبة، والتي تحوي عروماً مغناطيسية مختلفة عن الصفر، والمسؤولة عن تشكل J_{ro} عند ترسيبها، تتحد بمجموعات شديدة التأثير المتبادل بعضها مع بعض أو ما يسمى بالكلاستر (Cluster)؛ إذ إن الكلاستر في بداية الترسيب يكون له شكل كروي في مرحلة الترسيب. أما في مرحلة ما بعد الترسيب، فتحصل عملية تراص للرسوبيات تحت تأثير الجاذبية، وتحصل نتيجة لذلك عملية انضغاط للكلاستر، وبأخذ شكلاً إهليلجياً، وبذلك نحصل على ما يسمى أنيزوتروبية الكلاستر (Cluster anisotropy) (غير متماثل المناحي)، والتي تحدد أنيزوتروبية شكل الكلاستر الناتجة عن اتحاد الجسيمات المغناطيسية في الكلاستر ضمن الرسوبيات.

سنستعرض عناصر الحقل المغناطيسي الأرضي (Elements of the Geomagnetic field) كأساس في الدراسة التجريبية.

لمعرفة خواص الحقل المغناطيسي الأرضي، كبقية الحقول، يجب معرفة شدته، ومركباته. من أجل تحليل مركبات الحقل المغناطيسي الأرضي نأخذ جملة إحداثيات متعامدة (x, y, z) ، كما هو موضح في الشكل 4. نأخذ المحور ox باتجاه الشمال الجغرافي، و oy باتجاه الشرق، والمحور oz المحور الشاقولي. نأخذ مبدأ الإحداثيات في مكان دراسة \vec{H}_T الحقل المغناطيسي الأرضي. إذ إن المتجه \vec{H}_T الذي يعبر عن شدة الحقل المغناطيسي الأرضي

الكلية (Strength of the Geomagnetic field)، ويعبر عنه بالمتجه \vec{OA} ، ويسمى مسقط هذا المتجه على المحور x المركبة الشمالية (North component)، في حين يسمى مسقط \vec{OA} على المحور y المركبة الشرقية Y (East component)، أما مسقط \vec{OA} على المحور z فيسمى المركبة الشاقولية



الشكل 4: عناصر الحقل المغناطيسي الأرضي.

(Vertical component) للحقل. نسمي مسقط \vec{OA} على المستوي الأفقي المركبة الأفقية (Horizontal component) H ، في حين نسمي المستوي ZOB مستوي الميريديان المغناطيسي (The magnetic Meridian Plane)، ونسمي الزاوية بين مستوي الميريديان المغناطيسي والمركبة الشمالية، أي xOB ، زاوية الانحراف المغناطيسي D (Declination)، كما نسمي الزاوية الكائنة بين المستوي الأفقي والمركبة الكلية للحقل، أي AoB ، زاوية الميل المغناطيسي j (Inclination).

من الواضح، وفق الشكل 4 أن القيمة الموجبة للانحراف المغناطيسي D تكون باتجاه الشرق، وسالبة باتجاه الغرب، كما أن زاوية الميل المغناطيسي j تكون موجبة عندما تكون \vec{H}_T موجهة إلى الأسفل بالنسبة إلى سطح الأرض كما هو الحال في نصف الكرة الجنوبي، وسالبة عندما تكون \vec{H}_T موجهة إلى الأعلى كما هو الحال في نصف الكرة الشمالي. تمثل زاوية الانحراف D ، وزاوية الميل j ، والمركبة الأفقية H ، والمركبة الشاقولية Z ، والمركبة الشمالية X ، والمركبة الشرقية Y عناصر الحقل المغناطيسي الأرضي (Elements of the geomagnetic field). ويمكن ربط هذه العناصر بعضها ببعض كما يلي [1]:

$$X = H \cos D, \quad Y = H \sin D, \quad Z = H \operatorname{tg} j$$

$$H^2 = X^2 + Y^2, \quad H_T^2 = H^2 + Z^2, \quad \operatorname{tg} D = \frac{X}{Y}$$

$$H_T = H \sin j = Z \operatorname{cosec} j$$

من أجل دراسة الخواص المغناطيسية للصخور يجب القيام بما يأتي:

1. معرفة تركيز المادة المغناطيسية في الرسوبيات؛ إذ يتأرجح التركيز في الرسوبيات الطبيعية بين 0.1% و 10%.
2. دراسة التمثغط الموجه J_{ro} ، وعلاقته بتركيز الجسيمات المغناطيسية في الصخرة والحقل المغناطيسي المطبق.

3. دراسة ما يسمى التمغنط المثالي الذي يعد بصفته معايرة لجميع أشكال التمغنط، ويتم الحصول عليه بوضع العينة في حقل مغناطيسي؛ قيمته ثابتة ومعلومة، ثم يطبق عليها حقل مغناطيسي متغير، نجعل سعته تتغير من حالة الإشباع من أجل العينة المدروسة إلى الصفر. وغالبا ما تكون سعة الحقل المغناطيسي المتغير ($h = 1500 \text{ Oe}$) (إذ إن $10\text{Oe} = 79.6 \text{ A/m}$)، وبهذا يمكن إزالة جميع أشكال التمغنط الإضافي المتشكل في الصخرة؛ إذ تكون $J_{ri} = f(H)$ خطية حتى القيمة $H = 10\text{Oe}$ والتركيز 0.5%، ويمثل J_{ri} التمغنط المثالي، H الحقل المغناطيسي المطبق.
4. دراسة الأنيروتروبية المغناطيسية $p_i = J_{rix} / J_{riz}$: إذ يمثل كل من J_{rix} و J_{riz} التمغنط المثالي وفق المحورين x و z على الترتيب.

هدف البحث وأهميته:

إن هدف البحث هو دراسة الرسوبيات الاصطناعية، وذلك بسبب صعوبة جمع عينات من الصخور الرسوبية الطبيعية من أماكن مختلفة من القشرة الأرضية. وترتبط دراسة الرسوبيات الاصطناعية بعوامل متعددة، مثل علاقة عملية الترسيب بدرجة الحرارة، وتركيب المواد المغناطيسية في المواد المترسبة، وعملية جفاف الرسوبيات، وعمق أحواض الترسيب. وتتصب الخاصة الهامة في هذه العوامل في عملية رص الرسوبيات تحت تأثير الضغط الجاذبي للمواد الرسوبية [1,2,3].

في هذا البحث تم دراسة أهم الخواص المغناطيسية للرسوبيات مثل التمغنط الموجه J_{ro} ، ميل التمغنط الموجه z عند قيم مختلفة للضغط الجاذبي للرسوبيات تحت تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي المطبق (الحقل الموجود داخل المخبر). وأهم ما تم التوصل إليه، في مراحل الترسيب وبعده هو تقريب الشروط الاصطناعية للرسوبيات من الشروط الطبيعية، ومن ثم تصحيح خطأ ميل مركبة التمغنط الموجه للصخور بالنسبة إلى ميل الحقل المغناطيسي الأرضي المطبق.

طريقة البحث والمواد المستخدمة:

إن أهم الأهداف الرئيسة في علم البالومغناطيسية هو تحديد اتجاه هذا الحقل في الأزمنة الجيولوجية القديمة. وتعتمد إحدى أهم الطرائق المستخدمة على دراسة الخواص المغناطيسية للصخور الرسوبية. وينصب الموضوع الأكثر اهتماما في هذا المجال في دراسة التمغنط الموجه للصخور الرسوبية التي يمكن أن تعطينا الاتجاه الحقيقي للحقل الجيومغناطيسي القديم إلا أنه في هذه الطريقة يحدث بعض الأحيان عدم الدقة في تعيين الاتجاه الدقيق للحقل الجيومغناطيسي القديم، وذلك بسبب عوامل عديدة من أهمها نذكر:

1. ظهور ما يسمى خطأ الميل لمركبة التمغنط الموجه J_{ro} بالنسبة إلى مركبة الحقل الجيومغناطيسي H المطبق على الصخرة في أثناء تشكل هذه الصخرة أي عدم توازي اتجاه J_{ro} و H .
 2. درجة ثبات مركبة التمغنط الطبيعي المتبقي مع الزمن التي لا تتجاوز زما أكثر من نصف مليار عام.
- من أجل ذلك كان لا بد من دراسة إمكانية إزالة هذه النواقص التي تعترض نجاح هذا البحث وقد تم إيجاد طريقة جديدة لدراسة الخواص المغناطيسية للصخور الرسوبية مخبريا، وذلك بسبب صعوبة جمع عينات من الصخور من أماكن مختلفة من الأرض كما ذكرنا سابقا. إذ توفر هذه الطريقة الكثير من الجهود، والوقت في أثناء الدراسة. تعتمد

هذه الطريقة على تقريب الظروف (الشروط) المخبرية للترسيب مع الشروط الطبيعية، ومن أجل تجنب العوائق التي تعيق تقارب هذه الشروط. تم اختيار المواد الداخلة في الترسيب، وهي إما خليط من مواد طبيعية مثل: الطين، والطباشير بنسب مدروسة من تركيز المواد المغناطيسية فيها؛ انظر الشكل 2. والنسب المدروسة هي بحدود 0.5%، وهذا يسمى النموذج الأول في الترسيب. أما النموذج الثاني في الترسيب، فهو إعادة ترسيب صخور رسوبية طبيعية تم جمعها من أماكن محدودة من القشرة الأرضية. يبلغ قياس الجسيمات المغناطيسية المحتواة في الصخور عادة نحو 1-30 μm . وبعد ذلك تم دراسة العوامل المرتبطة بالترسيب، وأهم الخواص الفيزيائية المغناطيسية المرتبطة بالرسوبيات. تعد عملية رص الرسوبيات (ضغط المواد المترسبة تحت تأثير الجاذبية) من أهم العوامل التي تؤثر في عملية الترسيب ومن أهم الخواص الفيزيائية المغناطيسية المرتبطة بهذه الرسوبيات نذكر:

1. قيمة التمعنط الموجه للرسوبيات J_{ro} .
2. قيمة التمعنط المثالي للرسوبيات J_{ri} .
3. قيمة معامل الأنيزوتروبية المغناطيسية للرسوبيات p_i .
4. دراسة خطأ الميل لمركبة التمعنط الموجه، أو انخفاض زاوية ميل التمعنط الموجه j_o بالنسبة إلى اتجاه الحقل المغناطيسي المطبق على الرسوبيات.
5. إمكانية تصحيح خطأ الميل لمركبة التمعنط الموجه بالنسبة إلى الحقل المغناطيسي الأرضي المطبق.

طريقة تحضير الرسوبيات:

حسب هدف المسألة المدروسة، تم تحضير سلسلة من الرسوبيات الاصطناعية بتعريضها لقيم مختلفة من الضغط المطبق على الرسوبيات بأوزان مختلفة تتأرجح بين 1 kg و 12 kg، والموافقة لـ 2 k pa و 24 kpa في مرحلة بعد الترسيب.

المواد المترسبة: تم تحضيرها في أحواض صغيرة المساحة؛ أبعادها $70 \times 70 \times 200 \text{ mm}^3$ ، كما يأتي: تم تحضير عشرة أوعية؛ أبعادها $70 \times 70 \times 200 \text{ mm}^3$ ، واختيار مسحوق مؤلف من 50% طين، و 50% طباشير، يضاف إليها 1% من كميتها جسيمات مغناطيسية من Fe_3O_4 ، وهذه الكمية تبلغ نحو 300 g، يضاف إليها لتر من الماء، ثم تخلط بشكل متجانس، وتصب دفعة واحدة في أحواض الترسيب الموصوفة سابقاً. تتم جميع عمليات الترسيب في الفراغ، وتحت تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي ($H_0 = 0.5 \text{ Oe}$)، أو بالجملة الدولية ($H_0 = 40 \text{ A/m}$)، ضمن وشائع خاصة لدراسة الحقل المغناطيسي الأرضي - تسمى هذه الشائع وشائع فانزيلو. وهي عبارة عن 6 وشائع، كل اثنتين منها متعامدة مثلي مثلي، وتشمل مركبة من مركبات الحقل المغناطيسي الأرضي - أي وفق المحاور Z, Y, X، انظر الشكل 4، وبزاوية ميل قدرها $j_H = 79^\circ$ (إن هذا الحقل يؤثر في الرسوبيات خلال فترة تشكلها تشكلاً كاملاً).

توضع أحواض الترسيب بشكل يكون فيه تأثير الحقل وفق المستوي (xz) في المحاور الإحداثية. تجدر الإشارة إلى أن حوض الترسيب مصنوع من مادة البلاستيك المقوى الشفاف غير مغناطيسي. توضع بأسفله، قبل صب المزيج المراد دراسته، مادة غير متمغنطة من النوع نفسه أو أي معدن غير متمغنط، ثم تربط بخيط غير قابل للامتطاط من أجل سحب المزيج أثناء انتهاء عملية الترسيب. بعد يوم أو يومين يظهر الحد الفاصل بين المادة، والمادة الرسوبية المراد دراستها، ويزداد هذا الحد الفاصل وضوحاً يوماً بعد يوم بشكل بطيء. وخلال هذه الفترة نضيف كمية من الأوراق

الماصة للماء، وذلك لكي يأخذ سطح هذه الرسوبيات شكلاً مستويًا خاليًا من التشوهات أو الطيات. عندما تأخذ الرسوبيات الحجم القريب من الحجم النهائي نضيف طبقة رملية سماكتها بحدود 3 cm، ونبدأ بسحب الماء من الحوض بشكل تدريجي، وبعدها نضيف كمية من الأوراق الماصة للماء، ونضف، بعد ذلك، طبقة من الرمل؛ سماكتها بحدود 5 cm، ثم نسحب الماء سحبًا كاملاً، ونضع صفيحة مستوية مصقولة من مادة غير متمغنطة على سطح الرسوبيات، ثم نضع فوقها ثقلاً قدره 1 kg، من مادة غير متمغنطة في كل حوض من الأحواض. وهنا تبدأ مرحلة الرص للرسوبيات؛ أي مرحلة ما بعد الترسيب، وتبدأ الرسوبيات بالجفاف، ونقوم بزيادة الرص بإضافة 1 kg في كل مرة. بعد ذلك، تسحب الرسوبيات من الحوض بواسطة الخيط غير القابل للامتطاط، وتترك حتى تجف جفافاً كاملاً تحت التأثيرات السابقة نفسها، وضمن وشائع فانزيلا، ومع استمرار إضافة كتل مختلفة وزنها 1 kg في كل مرة، وتحت تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي المخبري.

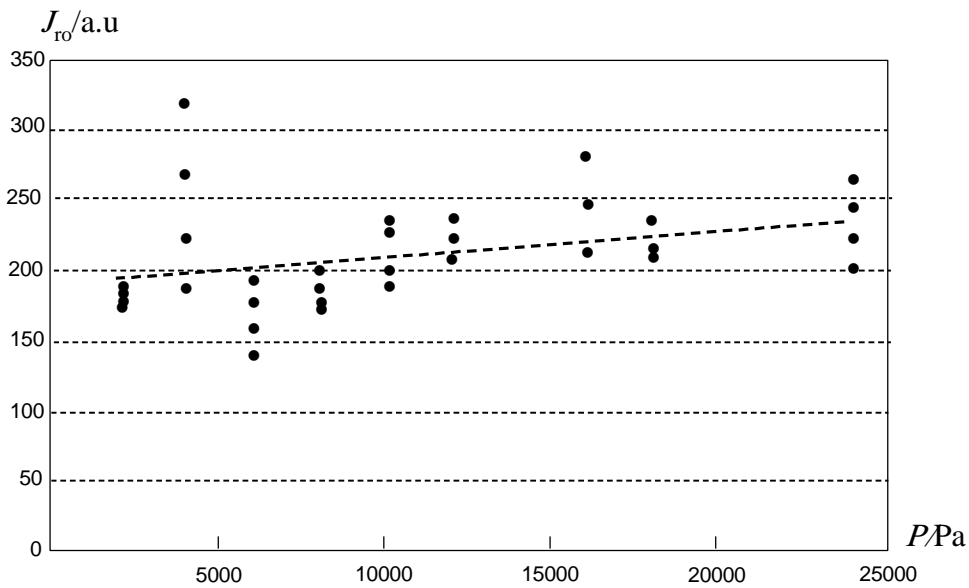
عند انتهاء العملية التي تستمر نحو 20 إلى 30 يوماً نحصل على رسوبيات جافة؛ إذ تبلغ وزن الكتل المضافة بالتدريج 10 kg. تمّ قص (نشر) هذه الرسوبيات إلى 4 عينات مكعبة الشكل؛ طول ضلع المكعب نحو 25 mm، وتم تحديد اتجاه التمغنط في العينة كما يأتي: المحور X باتجاه المركبة الشمالية، والمحور Y باتجاه الشرق، والمحور Z باتجاه الأسفل.

تم دراسة العينات بواسطة مغنيتومتر - نموذج يانوفسكي بحساسية قدرها 0.12γ لكل درجة، أو بواسطة مقياس أيون - 1 - بحساسية قدرها $3 \times 10^{-6}\gamma$ لكل درجة بخطأ لا يتجاوز 1-2%.

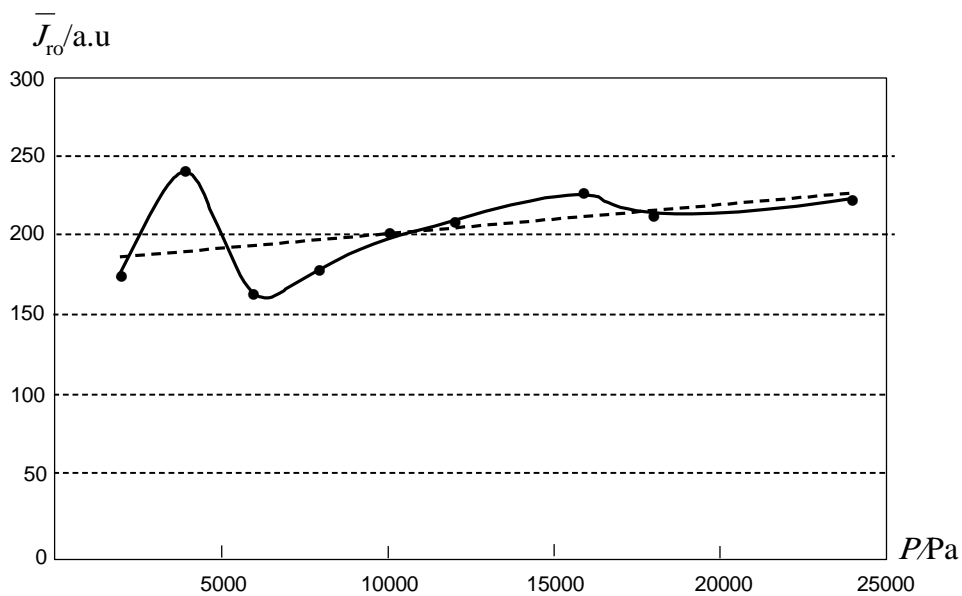
النتائج والمناقشة:

من أجل كل عينة من العينات المكعبة الشكل التي حصلنا عليها، تم قياس مركبات التمغنط الموجه وفق المحاور X، Y، Z. أي أن مركبات التمغنط المتوجة هي: J_{rox} ، J_{roy} ، J_{roz} ، وتمّ بعد ذلك حساب ميل هذه المركبات (انظر علاقة الحقل المغناطيسي الأرضي). توضح الأشكال من 5 حتى 8 نتائج القياس.

يبين الشكل 5 علاقة التمغنط المتوجة لجميع العينات في الرسوبيات بقيمة الضغط الجاذبي للمواد الرسوبية. ومن الواضح أن قيمة J_{ro} تزداد بزيادة الضغط الجاذبي للرسوبيات، وأن القيمة العظمى للضغط تقع في مرحلة ما بعد الترسيب، وهذا يعني أنه إما في هذه المرحلة يحدث توازن عزوم الجسيمات المغناطيسية باتجاه الحقل توازناً جيداً، وإما في هذه المرحلة بالنسبة إلى توازن العزوم المغناطيسية تقاوم جميع العوائق التي كانت تحول دون توازن العزوم المغناطيسية في مرحلة الترسيب. ويوضح الشكل 6 علاقة القيم المتوسطة لمركبة التمغنط الموجه لجميع العينات في الرسوبيات (من أجل 4 عينات مكعبة الشكل في كل حوض من الأحواض المدروسة)، بقيمة الضغط الجاذبي للمواد الرسوبية. ويثبت الشكل 6 كما هو واضح صحة النتائج المتمثلة في الشكل 5.



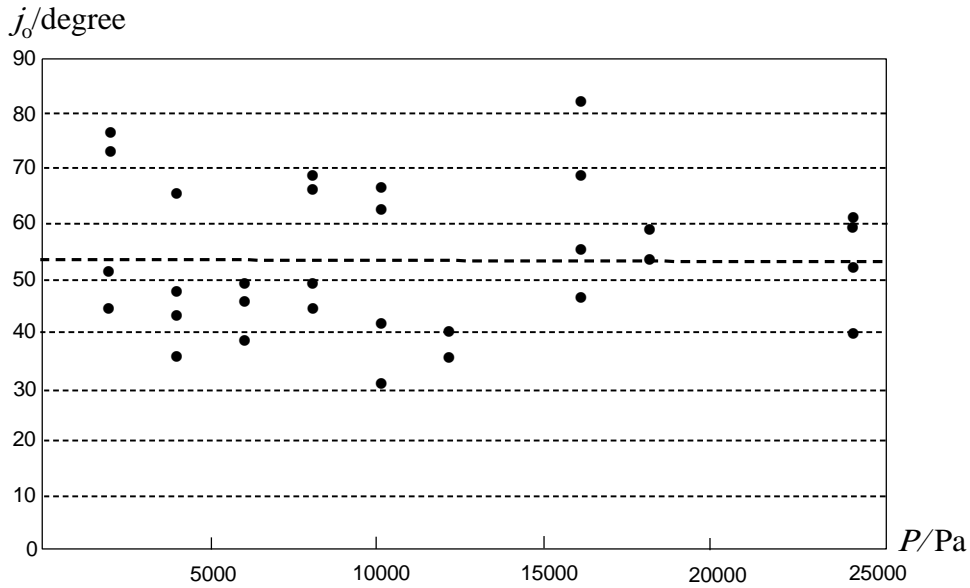
الشكل 5: علاقة التمعنط الموجه بدلالة الضغط الجاذبي.



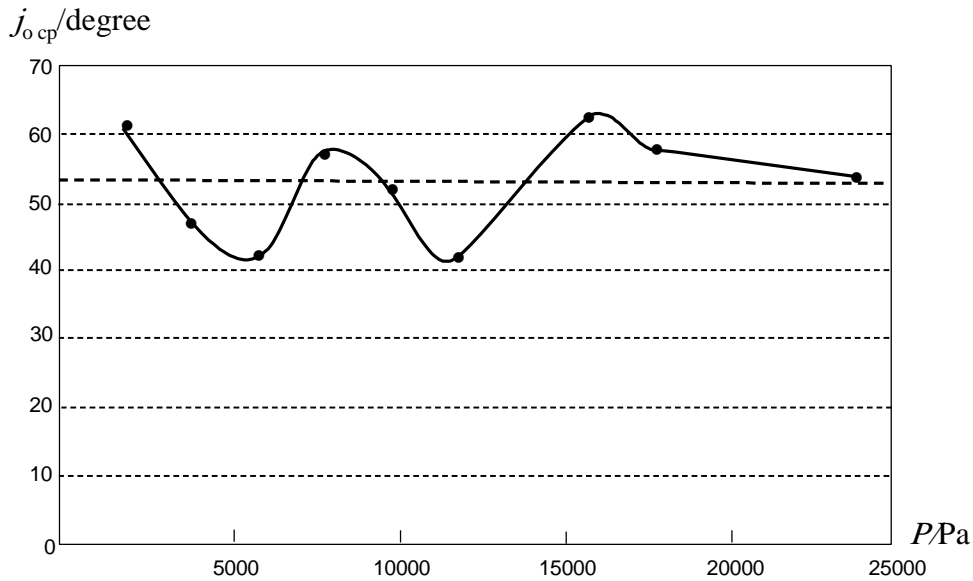
الشكل 6: علاقة القيمة المتوسطة للتمعنط الموجه بدلالة الضغط الجاذبي.

يوضح الشكلان 7 و 8 علاقة زاوية ميل التمعنط الموجه لجميع العينات والقيمة المتوسطة لزاوية ميل هذه المركبات بقيمة الضغط الجاذبي للمواد الرسوبية. على الرغم من تشتت هذه القيم بالنسبة إلى القيمة المتوسطة يتضح من هذين الشكلين أنه لا توجد علاقة بين زاوية الميل لمركبة التمعنط وقيمة الضغط الجاذبي للمواد الرسوبية (على الأقل في مجال قيم الضغط المدروسة). ولكن يتضح أن زاوية ميل مركبة التمعنط قد انخفضت (القيمة المتوسطة لزاوية الميل لجميع الرسوبيات تساوي 53°)، وبذلك فإن القيمة المتوسطة لخطأ ميل مركبة التمعنط الموجه هي

$$\delta j = j_H - j_o = 79^\circ - 53^\circ = 26^\circ$$



الشكل 7: علاقة زاوية التمثغظ الموجه بدلالة الضغط الجاذبي.



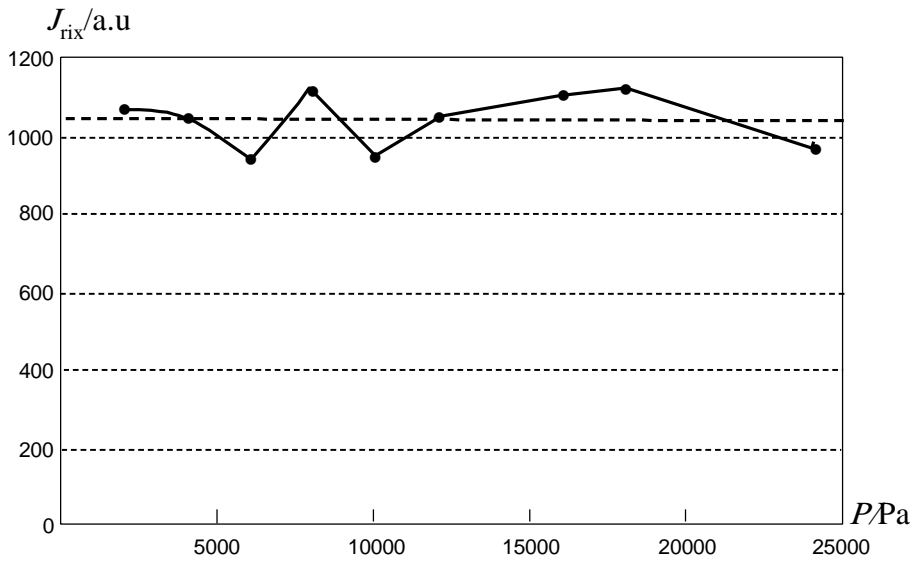
الشكل 8: علاقة القيمة المتوسطة لزاوية ميل التمثغظ الموجه بدلالة الضغط الجاذبي.

يبدو أن هذه القيمة لخطأ الميل لمركبة التمثغظ كبيرة إلى حد ما من أجل جميع الرسوبيات، وبذلك يجب البحث عن إمكانية تصحيح هذا الخطأ بوساطة خواص المغناطيسية الأنيزوتروبية، وفقا للطريقة المقترحة في الأعمال [6,5]. فمن أجل ذلك تم أخذ عينتين فقط من جميع الرسوبيات، وقياس مركبة التمثغظ المثالي J_{ri} في حقل مغناطيسي ثابت؛ قيمته $H_i = 20\text{Oe}$ ، وقيمة سعة بدائية لحقل مغناطيسي متغير قدرها $h_0 = 15000\text{Oe}$ على امتداد المحورين X و

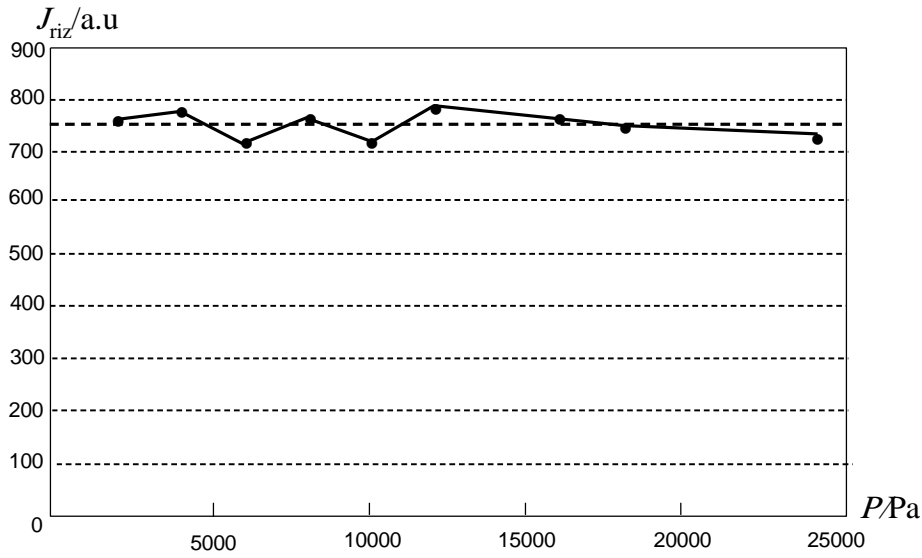
Z، أي نحصل في هذه الحالة على مركبتين للتمغنط المثالي وفق المحورين X و Z. ونرمز لهاتين المركبتين بالرمز J_{rix} و J_{riz} . وبعد ذلك نحسب معامل الأنيزوتروبية المغناطيسية من العلاقة $p_i = J_{rix} / J_{riz}$.

يوضح الشكل 9 علاقة التماغنط المثالي J_{rix} للعينات المدروسة بقيمة الضغط الجاذبي للمواد الرسوبية (القيمة المتوسطة لجميع العينات هي 1098 واحدة اختيارية) في حين يوضح الشكل 10 علاقة التماغنط المثالي J_{riz} للعينات المدروسة بقيمة الضغط الجاذبي للمواد الرسوبية (القيمة المتوسطة هي $\bar{J}_{riz} = 750$ واحدة اختيارية). يتضح من الشكلين 9 و 10 أن قيمة كل من J_{rix} و J_{riz} لا تتعلق عمليا بقيمة الضغط الجاذبي للمواد الرسوبية - هذا يعني أن المواد المغناطيسية المحتواة في المواد الرسوبية (تركيبها ونسبتها) تكون متجانسة.

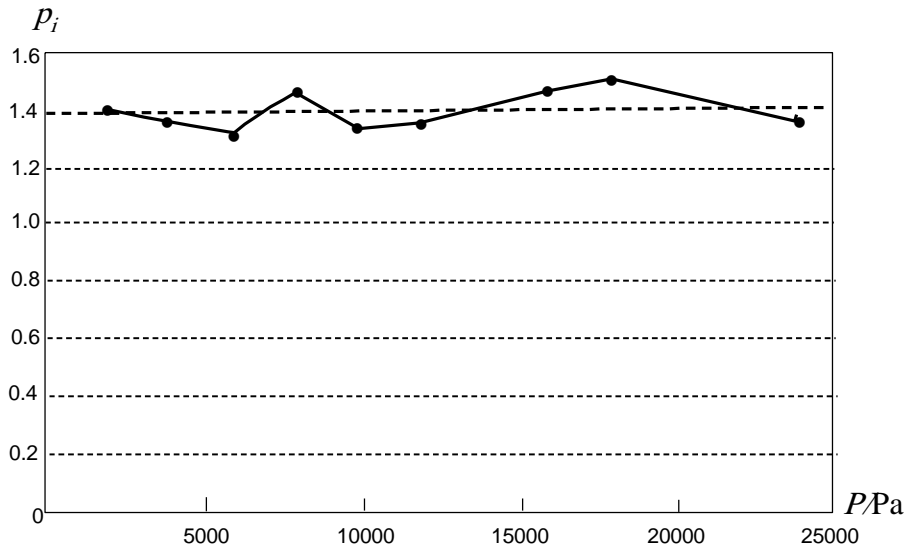
بعد حساب معامل الأنيزوتروبية المغناطيسية p_i تم دراسة العلاقة بين p_i وقيمة الضغط الجاذبي للمواد الرسوبية. ويوضح الشكل 11 هذا العلاقة (القيمة المتوسطة لـ p_i هي $\bar{p}_i = 1,396$). يتضح من الشكل 11 أن p_i لا يتعلق بقيمة الضغط الجاذبي للرسوبيات.



الشكل 9: علاقة التماغنط المثالي J_{rix} وفق المحور ox بدلالة الضغط الجاذبي.

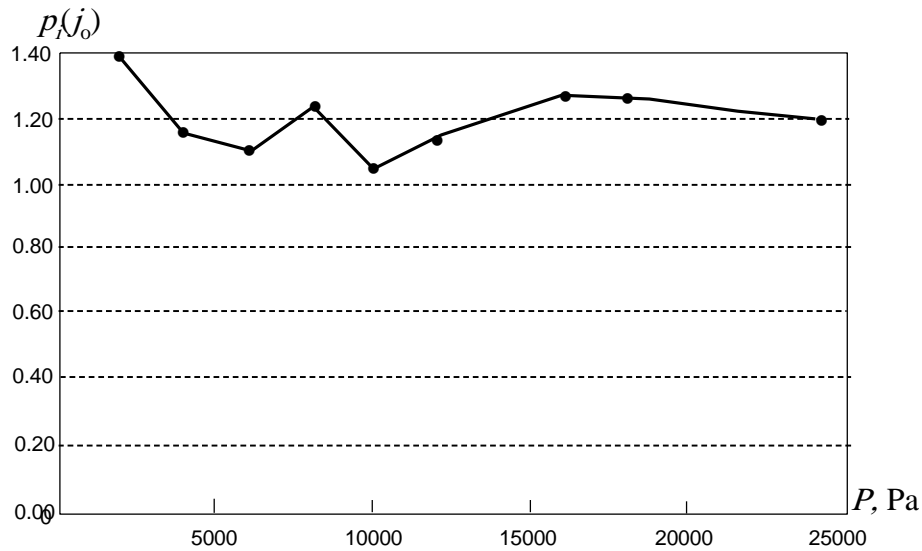


الشكل 10: علاقة التمعنظ المثالي J_{riz} وفق المحور oz بدلالة الضغط الجاذبي.

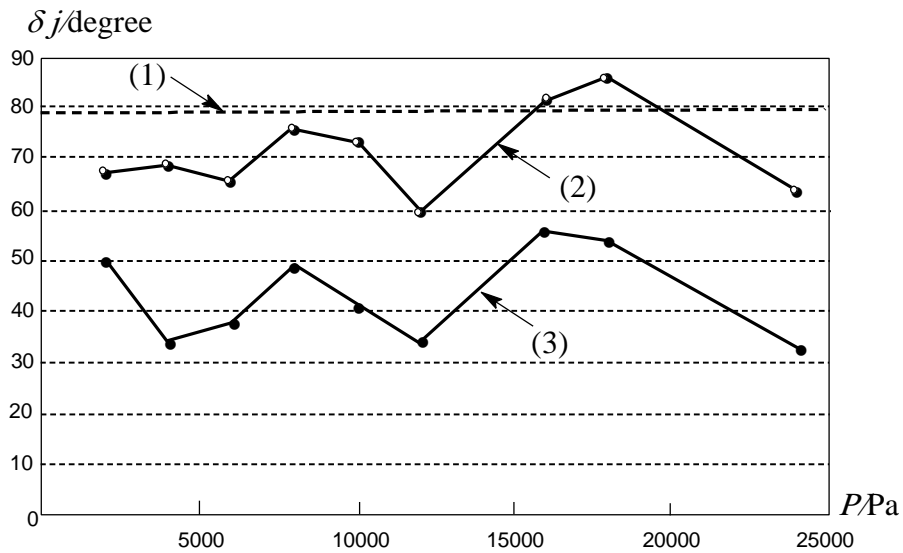


الشكل 11: علاقة معامل الأنيزوتروبية p_i بدلالة الضغط الجاذبي.

إذاً: من خلال ما تقدم نجد أن اختيار الرسوبيات بالنسب المذكورة من الطين، والطباشير تم بشكل مناسب وناجح. يبقى لدينا الآن دراسة إمكانية تصحيح زاوية ميل التمعنظ الموجه بالنسبة إلى زاوية ميل الحقل المغناطيسي المطبق بالاستفادة من الأعمال [5,4]. إذاً: من أجل ذلك يجب قياس p_i من أجل كل عينة، ودراسة التابع $p_i(j_o)$. من أجل هذا الغرض يجب دراسة التمعنظ المثالي باتجاه مركبات التمعنظ الموجه لجميع العينات. يوضح الشكل 12 العلاقة $p_i(j_o)$ بقيمة الضغط الجاذبي للمواد الرسوبية، أما الشكل 13 فيوضح نتائج تصحيح خطأ الميل لجميع العينات المدروسة. يتضح من الشكل 13 أن ميل التمعنظ الموجه يساوي $j_o = 43^\circ$ ، وأن تصحيح الميل يساوي $\bar{j} = 72^\circ$. تعد قيمة التصحيح هذه مقبولة إلى حد ما.



الشكل 12: علاقة المعامل $p_i(j_o)$ بدلالة الضغط الجاذبي.



الشكل 13: علاقة ميل التمغنط الموجه بدلالة الضغط الجاذبي.

- (1) يشير إلى زاوية ميل الحقل المغناطيسي الأرضي المطبق.
- (2) يشير إلى القيمة المصححة لزاوية ميل التمغنط الموجه للرسوبيات.
- (3) يشير إلى القيمة المتوسطة لزاوية ميل التمغنط الموجه للرسوبيات.

الاستنتاجات:

يمكن القول مما سبق: إنه يمكن إنشاء سلسلة من الرسوبيات الاصطناعية، والمقاربة للشروط الطبيعية من الضغط الجاذبي، والسماكات التي قد تتأرجح بين 20 cm حتى 2 m، وكذلك دراسة الخواص المغناطيسية لهذه الرسوبيات المرتبطة بها مثل: قيمة الأنيزوتروبية المغناطيسية، وقيمة التمغنط الموجه، والتمغنط المثالي، وخطأ الميل -

انخفاض ميل التمغنط الموجه، وإمكانية تصحيح خطأ الميل. وتبين من خلال الدراسة، والمنحنيات البيانية أن قيمة التمغنط الموجه J_{ro} تتناسب مع قيمة الضغط الجاذبي للمواد الرسوبية إلى حد ما، كما تبين أن مرحلة ما بعد الترسيب تؤمن أفضل الشروط لتوازن العزوم المغناطيسية للجسيمات المغناطيسية المحتواة في الرسوبيات باتجاه الحقل، أو تمنع جميع العوائق التي تعيق هذا التوازن في مرحلة الترسيب، كما تبين أن بعض الخواص المغناطيسية مثل: الأنيزوتروبية المغناطيسية، والتمغنط المثالي، وغيرها لا تتعلق بقيمة الضغط الجاذبي للمواد الرسوبية وهكذا يمكن القول: إن الخواص المغناطيسية تتعلق بشروط الترسيب، وبقيمة الضغط الجاذبي للمواد الرسوبية أيضاً، والمقدرة قيمته بالباسكال. وتجدر الإشارة أخيراً إلى أنه تم الحصول على الرسوبيات الناتجة تحت تأثير الضغط الجاذبي للمواد الرسوبية وتحت تأثير الحقل المغناطيسي المطبق حتى جفاف الرسوبيات جفافاً كاملاً.

الاختصارات المستخدمة:

DRM: Deposition Rock Magnetization

PDRM: Post Deposition Rock Magnetization

المراجع:

- [1] YANOVSKY, B. M. *Magnetism of the Earth. LGU, 1978. p. 592.*
- [2] HOVOSYLOV, A. I. *Cluster Model of magnetism orientation of magnetization- Science- LGU, 1990. p. 33-38*
- [3] KHRAMOV, A.V.; NEDRA, L. *Paleomagnetology. 1982. p. 59-69.*
- [4] SHASHKANOV, V. A.; HOVOSYLOV, A. I.; SMERNOV, A.V. *Nature of magnetism anisotropy and error of inclination of magnetism. Pub. AS. USSR. Physics of the earth. 1989, № 1, p.. 59-69.*
- [5] SHASHKANOV, V. A.; ISOPOVA, E. V.; DOBROVIN P. V. *Correction of error of inclination of magnetism. Sediment rock magnetism. Physics of the earth. 2003, № 9, c. 59-64.*
- [6] SHASHKANOV, V. A.; LOUAI, M. *components of orientation magnetization of synthetic depositions. LGU, 1989. p. 49-53.*
- [7] COLLINSON, D. W. *Depositional remanent magnetization in sediments. 1965. p. 45-47.*
- [8] NAGATA, T. *On the depositional remnant magnetism (DRM). 1963. p. 67-72.*
- [9] FRANK, D. S. *Physics of the earth, 1969. New York, London, Sydney, Toronto. p. 123-127.*