الحفر الطاحوني

(Rotary Drilling)

4-1- الأجهزة والمعدات المستخدمة في الحفر الطاحوني(Rig components):

تعتبر طريقة الحفر الطاحوني الأولى من حيث الشيوع والاستخدام . وسنتناول في هذا الفصل المعدات الجوفية المستخدمة في هذه الطريقة من الحفر ، والتي يطلق عليها اسم " تشكيلة الحفر" أو "مجموعة الحفر " وتحديداً مواصفاتها ، والإجهادات التي تتعرض لها ، وتصميمها وكيفية اختيارها ، والمشكلات التي تحدث أثناء الحفر بسببها . أما فيما يتعلق بالمعدات السطحية فسنكتفي فقط بالتعرف على هذه المعدات ووظائفها وكيفية استخدامها والتعامل معها،ولن نتعرض إلى تصميمها لأن ذلك يدخل في اختصاص ميكانيك آلات الحفر.

4-1-1- الأجهزة السطحية (Surface Equipments) :

وهي تشكل الجزء الهام من جهاز الحفر المركب على فوهة البئر، وهذه الأجهزة هي التالية [2،3،6،12،18،28،29]، (انظر الشكل 4-1) :

4-1-1-1-أجهزة توليد ونقل الطاقة(Rig engines or prime movers):

تتطلب عمليات حفر الآبار طاقة تتراوح بين 3000 – 500 حصان قوة وذلك تبعاً للأعماق التي تقوم بحفرها ونوع الجهاز المستخدم في الحفر . ويتم توليد هذه الطاقة بواسطة محركين أو أكثر . فأجهزة حفر الآبار الضحلة والمتوسطة العمق تتطلب طاقة تتراوح بين 1000 – 500 حصان قوة يتم توليدها بواسطة محركين ، بينما تتطلب وحدات الحفر الثقيلة طاقة تبلغ 3000 حصان قوة بالإضافة إلى الوحدات الإضافية اللازمة لتوليد الكهرباء (بطاقة 500 – 100 حصان قوة) ، ويتم توليدها بواسطة ثلاثة أو أربعة محركات [34] . وتوجد أنواع عديدة من المحركات ، إلا أن محركات الاحتراق الداخلي (محركات الديزل) هي الأكثر استخداماً في الوقت الحاضر . نقل الطاقة المولدة إلى الأجزاء المختلفة لجهاز الحفر يتم ميكانيكياً أو كهربائياً . عند النقل بالطريقة الميكانيكية فإن الطاقة التي يولدها كل محرك توصل إلى مجمّع (Compound) الذي ينقلها بدوره بواسطة عناصر نقل الحركة إلى مجموعة الرفع والإنزال ورحى الحفر ومضخات سائل الحفر وغيرها من المعدات التي تتطلب الطاقة ، وفي الشكل (4-2) نبين ترتيب نقل الحركة من المحركات إلى الأجهزة المختلفة في جهاز الحفر [6،34] .

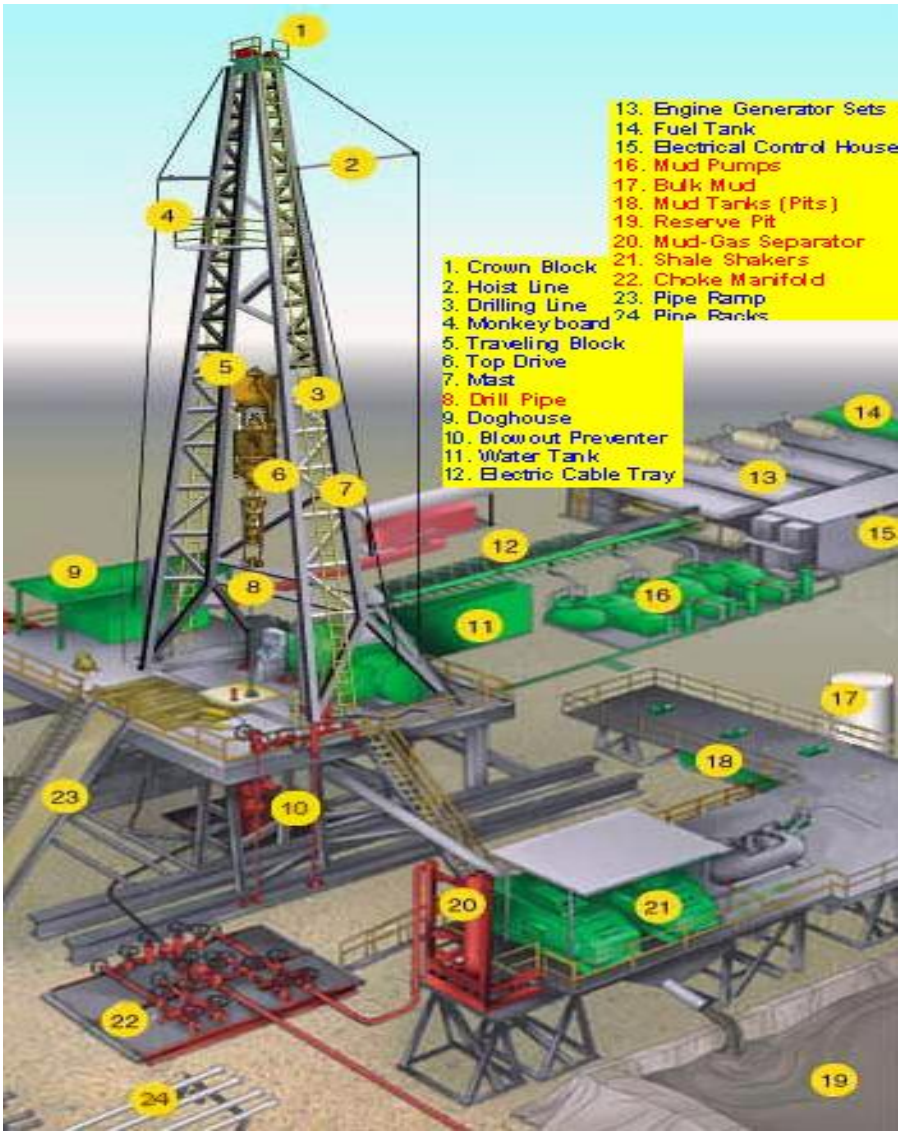
عند النقل بالطريقة الكهربائية فإن محركات الديزل التي تتوضع على مسافة كافية من جهاز الحفر والتي تستخدم مولدات ضخمة تقوم بتوليد الطاقة الكهربائية وتنقلها بواسطة كبل إلى محرك كهربائي موصول

مباشرةً مع مجموعة الرفع والإنزال ورحى الحفر ومضخات سائل الحفر وغيرها . الميزة الأساسية في محركات الديزل هي أنها تعمل بعيداً عن المجمع ولا تحتاج إلى توضعها قريباً من الملفاف والمجمع ، وأيضاً فإن ضجيج هذه المحركات بعيد عن تجمع العاملين على جهاز الحفر [23] .

أما المحركات التي يطلق عليها اسم ديزل – كهرباء ، أو توربين – كهرباء فهي تولد طاقة على شكل تيار كهربائي يمر من خلال أسلاك إلى المحول ، ثم إلى المحركات الكهربائية الموصولة مباشرةً إلى الأجهزة المطلوب تحريكها . والشكل (4–3) يبين كيفية نقل الطاقة من هذه المحركات .

4–1–2– مجموعة أجهزة الرفع والإنزال(Hoisting Equipment):

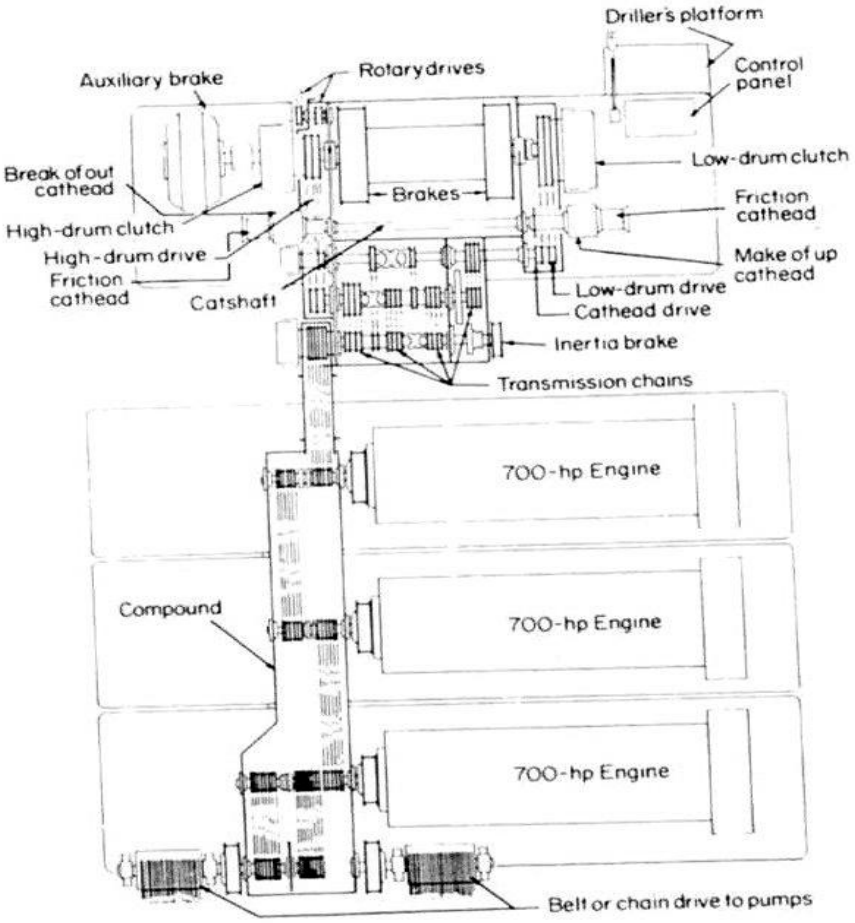
الوظيفة الرئيسية لمجموعة أجهزة الرفع والإنزال هي رفع مجموعة مواسير الحفر والمعدات الضرورية الأخرى من البئر وإنزالها بأمان وفعالية [23] . والمعدات التي تقوم هذه المجموعة برفعها وإنزالها هي : مجموعة مواسير الحفر ،



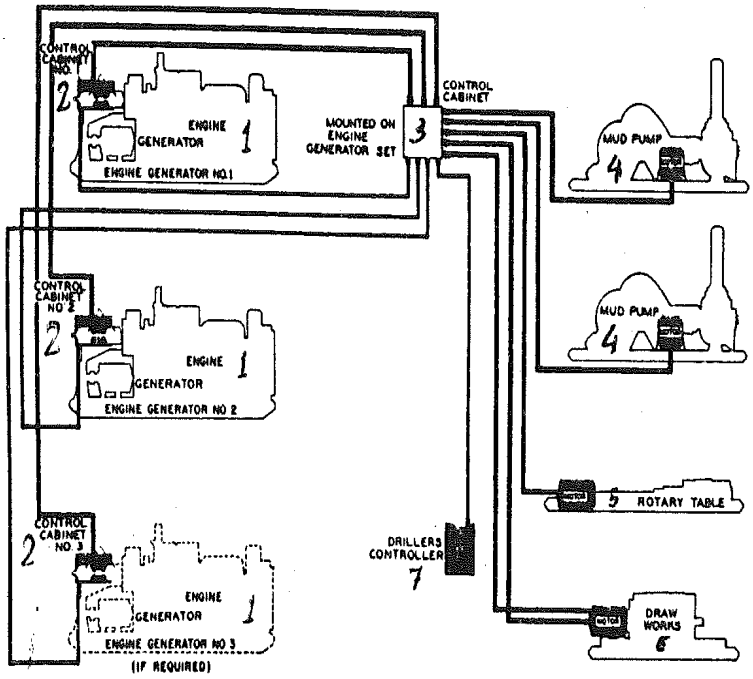
الشكل (4-1) رسم توضيحي لجهاز حفر روتري .

1- مجموعة البكرات الثابتة. 2- مجموعة الكبال. 3- كبل الحفر. 4- منصة عامل البرج. 5- مجموعة البكرات المتحركة. 6- الرأس الهيدروليكي. 7- البرج (وهو من النوع الصاري). 8- – مواسير الحفر. 9- بيت قلم الحفر. 10- أجهزة منع الانفجار. 11- خزان ماء.
12- كبل كهربائي (مجموعة نقل الحركة للمنضدة الرحوية من المحولات الرئيسية) 13- محركات توليد الطاقة. 14- خزانات الوقود. 15- غرفة تحكم كهربائية. 16- مضخات سائل الحفر.
17. كتلة الخزانات. 18- خزانات سائل الحفر العاملة. 19- خزانات سائل الحفر الاحتياطية. 20- فواصل الغاز.
21 - الهزازات (المناخل الهزازة). 22- مجموعة التشعبات السطحية (مجموعة التحكم بفوهة البئر). 23- سلم.
24- منصة تخزين المواسير.

مواسير التغليف ، أجهزة القياسات الجيوفيزيائية البئرية، أجهزة قياس الميل ، أجهزة الاختبار، معدات إكمال البئر. وتضم هذه المجموعة (الشكل 4-4) المعدات الآتية: الملفاف (Draw-works)، مجموعة البكرات الثابتة والمتحركة والخطاف والروافع (Hoisting tackle) ، كبل الحفر (Drilling line) ، والأجهزة المساعدة في عمليات الرفع والإنزال (Auxiliary hoisting equipments) .



الشكل (4–2) : ترتيب نقل الحركة من ثلاثة محركات .



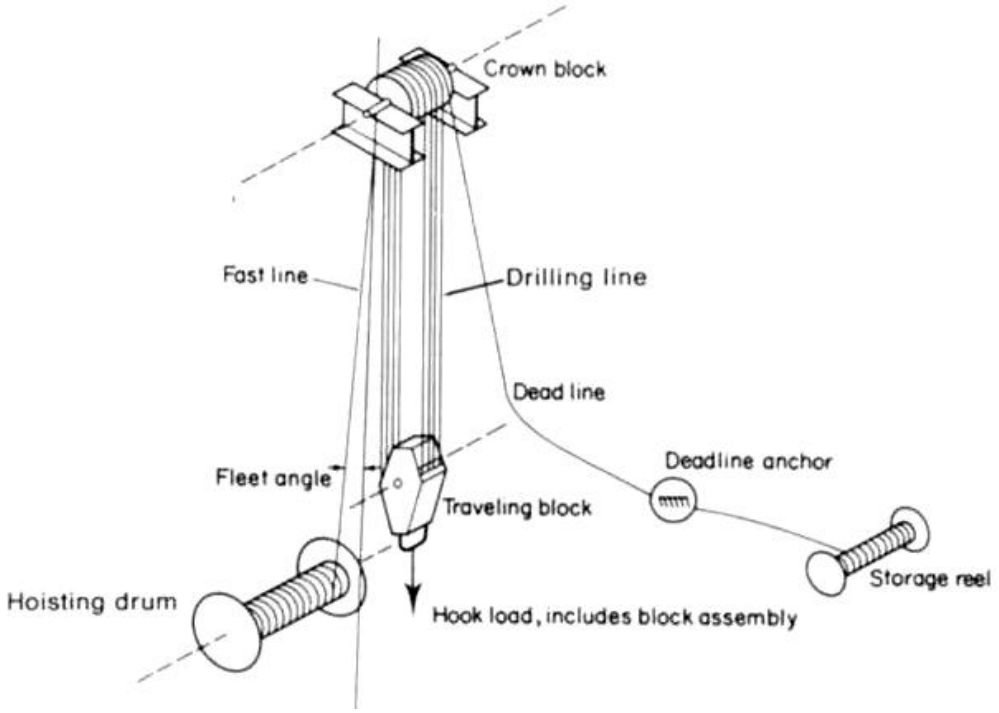
الشكل (4–3) يبين كيفية نقل الطاقة بواسطة محركات ديزل كهرباء .

1- مولد الطاقة. 2- غرفة مراقبة. 3- غرفة واقية رئيسية. 4- مضخات سائل الحفر. 5- طاحون الحفر. 6- مجموعة الرفع.

7- غرفة مراقبة عمليات الحفر.

4-1-1-2-1- الملفاف (Draw-works) :

يلعب الملفاف دور القلب في جهاز الحفر ، وهو يمكّن المعدات من النزول في البئر والخروج منه ، كما يعطي الطاقة اللازمة لفك مجموعة مواسير الحفر وتركيبها ، إضافةً إلى أنه يحافظ على مجموعة مواسير الحفر معلقةً أثناء الحفر الفعلي وكذلك أثناء تنظيف البئر من نواتج الحفر . ويتكون الملفاف (الشكل 4-4) من بكرة دوارة (Drum) يلتف حولها كبل الحفر ، حيث تتحول الحركة الدورانية إلى حركة خطية متناوبة (صعوداً وهبوطاً) بواسطة منظومة الكبال المعدنية (التفاف كبل الحفر على مجموعة البكرات الثابتة والمتحركة) [23] .



الشكل (4-4) : مجموعة أجهزة الرفع والإنزال في جهاز الحفر .

4-1-1-2-2- مجموعة البكرات التاجية (Crown block) :

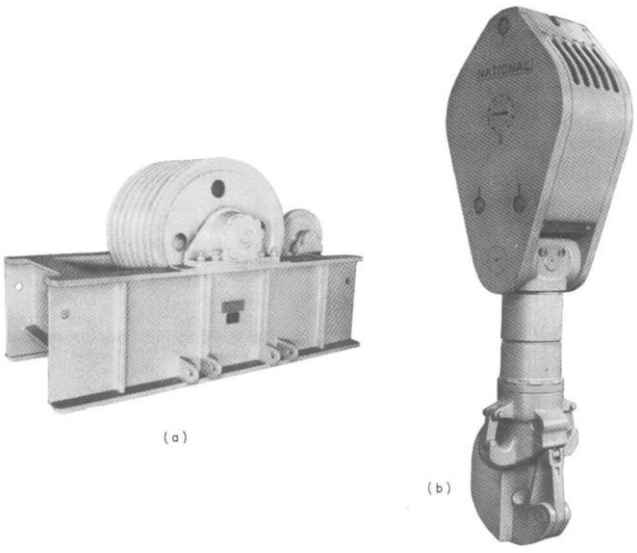
تتوضع هذه المجموعة من البكرات في الطرف العلوي لبرج جهاز الحفر (الشكل 4-5 (a)) . يلتف عليها كبل الحفر الآتي من بكرة الملفاف ، مؤدياً إلى إعطاء الحركة الخطية (صعوداً

وهبوطاً) إلى مجموعة البكرات المتحركة الموجودة أسفلها ، وبالتالي تمكين هذه الأخيرة من تنفيذ عمليات الرفع والإنزال لمجموعات المواسير من وإلى البئر . عدد بكرات هذه المجموعة (M) يزيد بواحدة عن البكرات المتحركة (N) ، أي (M=N+1) ، وعلى سبيل المثال ، عند استخدام 10 خطوط من كبل الحفر تستخدم 6 بكرات تاجية و 5 بكرات متحركة . وتوجد عدة أنظمة لمجموعة البكرات الثابتة والمتحركة تبعاً لاستطاعة جهاز الحفر(3 x 4 و 4 x 5 و 5 x 6 و 6 x 7) . كلما زاد عدد هذه البكرات ازدادت قدرة جهاز الحفر على حمل أوزان أثقل . تركب هذه المجموعة من البكرات على محور بقطر 10 in وتدور حوله بسهولة . تزود البكرة الواحدة بمجرى على محيطها يلتف عليه كبل الحفر .

4-1-1-2-3- مجموعة البكرات المتحركة والخطاف

(Traveling block and drilling hook) :

وهي مشابهة لمجموعة البكرات الثابتة وينقص عددها عن الثابتة بواحدة ، وتتميز عنها بوجود وصلة نابضية ضمن تصميم الخطاف تتوضع أسفلها ، وذلك لامتصاص الصدمات الناتجة عن توصيل المواسير ، وخطاف لحمل مجموعات المواسير ، وربط مجموعة البكرات المتحركة مع الرأس الهيدروليكي ، (الأشكال 4-5 (b) و 4-6)) . يلتف عليها كبل الحفر ، وتزود بمضاجع عالية المقاومة للاحتكاك . قطر البكرة المتحركة (وأيضاً الثابتة) أكبر من قطر الكبل المركب عليها بـ 30 – 35 مرة على الأقل وذلك للحد من التآكل السريع لها ، وزيادة العمر الزمني لعمل كبل الحفر . تصنع مجموعة البكرات المتحركة بحيث تكون [2،23] :



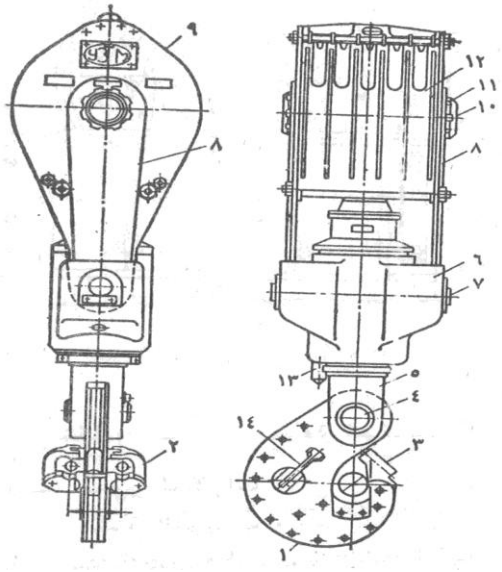
الشكل (4-5) : مجموعة البكرات الثابتة (a) والمتحركة (b).

- رقيقة ومتراصة بحيث تتطلب غطاء بأقل حجم ممكن .
- ثقيلة ، لزيادة سرعة إنزال الخطاف غير المحمّل .
- خالية من النتوءات والنهايات الحادة وذلك لضمان سلامة العاملين .

وتشكل مجموعة البكرات المتحركة مع الخطاف الجزء المتحرك من مجموعة الرفع ، ويطلق عليها اسم مجموعة الخطاف (Hook- Block) ، الشكل (4-6) .

4-1-1-2-4- كبل الحفر (Drilling line):

يؤمن كبل الحفر القيام بعمليات الرفع والإنزال لمجموعات المواسير من وإلى البئر من خلال التفافه وحركته على مجموعات البكرات الثابتة والمتحركة . طرف الكبل الآتي من بكرة الملفاف إلى مجموعة البكرات الثابتة يطلق عليه اسم " الطرف السريع أو الحي لكبل الحفرFast line "، أما الطرف الآخر والواصل بينمجموعة البكرات الثابتة فيسمى " الطرف الميت للكبل Dead line " ويمر بحذاء البرج إلى بكرة تخزين ماراً بجهاز يقوم بتثبيته برجل البرج من الأسفل يسمى "جهاز تثبيت الطرف الميت لكبل الحفرDead Anchor " (الشكل 4-4) .

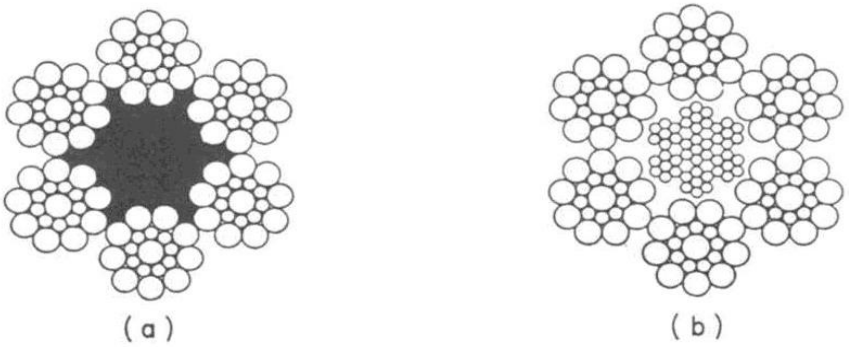


الشكل (4-6) : مجموعة الخطاف .

1- القرن المركزي للخطاف.
2- قرنان جانبيان.
3-14 – أقفال الخطاف.
4- مسمار لولبي.
5- جذع الخطاف.
6- القسم الثابت للخطاف.
8- لوح جانبي. 9- غطاء البكرات المتحركة.
10- محور البكرات المتحركة.
11- صامولة تثبيت المحور.
12- البكرات المتحركة.
13- أداة صد لمنع الخطاف من الدوران.

7- محور قابل للفك.

يصنع الكبل بأقطار مختلفة تبعاً للوزن الذي سوف يقوم يعمل على رفعه وإنزاله، وهو سداسي الجدائل ، وتتكون كل جديلة من مجموعة كبيرة من الأسلاك الفولاذية الملتفة مع بعضها بشكل حلزوني . وتلّف الجدائل حلزونياً أيضاً إما حول لب عضوي (ألياف نباتية) مشبع بالشحم ، أو لب معدني من الصلب ، الشكل (4-7) .



الشكل (4-7) : كبل الحفر [2،18] .

(a) – كبل ذو لب عضوي . (b) – كبل ذو لب معدني .

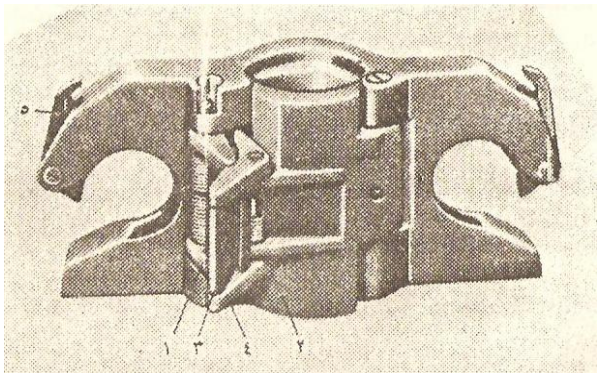
يتميز كبل الحفر ذي اللب المعدني بمقاومة عالية ولكن مرونته قليلة ، لذلك فهو يتطلب بكرات بأقطار كبيرة لسهولة ثني الكبل وحركته عليها ، ويستخدم عند حفر الآبار العميقة . أما الكبل ذو اللب العضوي فمقاومته أقل ، ولكن مرونته كبيرة وهو سهل الالتفاف حول البكرات صغيرة القطر ويستخدم عند حفر الآبار القليلة العمق .

4-1-1-2-5- الأجهزة المساعدة في عمليات الرفع والإنزال (Auxiliary hoisting equipments) :

تضم هذه المجموعة : الروافع ، الحلقات ، المزلات والمفاتيح [2،6،23] .

١ - الروافع (Elevators) :

تقوم الروافع (الشكل 4-8) بالإمساك بمجموعة المواسير وحمل وزنها أثناء عمليات الرفع والإنزال . تصنع الروافع بأقطار متعددة بحيث تناسب كل قطر من أقطار المواسير (عند الجسم) ، وتتألف من باب متحرك 2 لإدخال المواسير من خلاله ، وغالق نايضي (1) لفتح وإغلاق الباب المتحرك ، ومقبض مفصلي (3 ، 4) وحاجز ذاتي الإغلاق (5) .



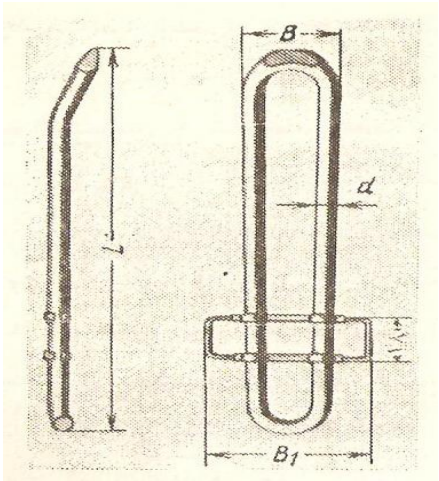
الشكل (4–8) : الرافعة (ماسكة المواسير) .

2– الحلقتان (Rings) :

وظيفة الحلقتين هي تعليق الرافع بالخطاف ، ولكل منهما شكل بيضوي ، الشكل (4–9) وممتدة بطول أحد محوريها ، وتنحني إحدى نهايتي الحلقتين لسهولة وضعها في قرني الخطاف . ويوجد في الجزء السفلي للحلقتين مقبض لتسهيل التعامل معها .

3– المزلات (Slips) :

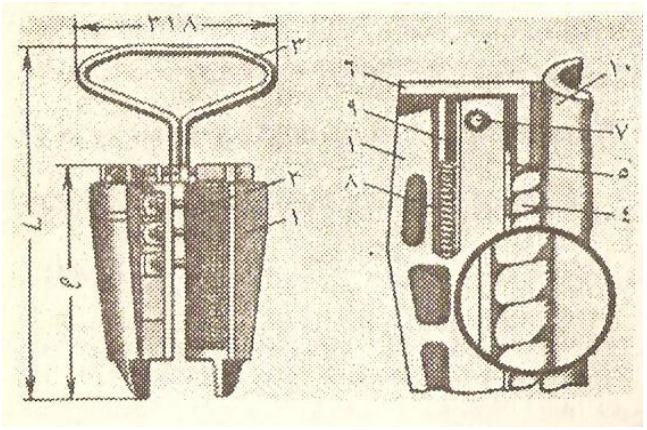
وظيفة المزلات هي تعليق مجموعة مواسير الحفر على الطاحون أثناء عمليات الرفع والإنزال. ويستخدم زوجان من المزلات أثناء العمل وتوضع في جلب الازدواج الكبير للطاحون ، الذي يحتوي على أخاديد مخروطية مما يضمن الانضغاط الجيد للمزلات على مواسير الحفر. وتتألف المزلات (الشكل 4–10) من غلاف مخروطي (1) يتناقص قطره باتجاه الأسفل يوضع في أخاديده عدد من القطع المسننة (4) التي تقوم بالإمساك بالمواسير (10) . تقفل القطع المسننة من الأعلى بواسطة غطاء (6) يدور محور (7) . يضغط النابض اللولبي (8) على القطع المسننة



الشكل (4–9) : الحلقات .

باتجاه الأسفل من خلال مسمار الارتكاز اللولبي (9) وصفيحة الارتكاز (5) .

يوصل كل زوج من المزلات بواسطة ثلاثة مسامير مسننة (2) ويزود بمقبض (3) .

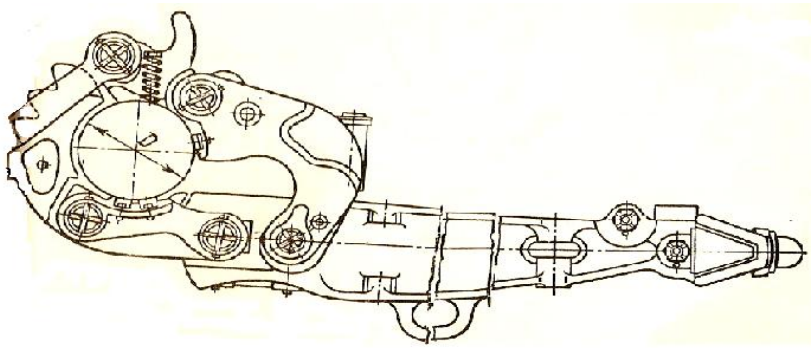


الشكل (4–10) : مزلات مواسير الحفر .

4– المفاتيح (Tongs) :

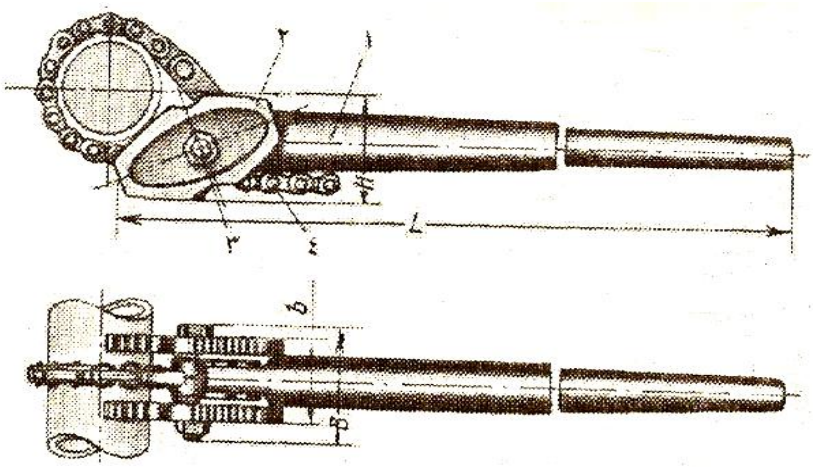
وظيفة المفاتيح فك مجموعة المواسير وربطها ، ويوجد منها نوعان : مفتاحان آليان (ميكانيكيان) ، الشكل (4–11) ويستخدمان لإحكام الربط والفك الابتدائي لمجموعة المواسير ، ومفتاحان يدويان (ذات سلاسل) ، الشكل (4–12) ويستخدمان لربط أجزاء مجموعة المواسير وفكها يدوياً ، على أن يتم إحكام الربط والفك الابتدائي بالمفاتيح الآلية .

تعلق المفاتيح داخل برج جهاز الحفر بواسطة كبلين بحيث تكون بوضع أفقي على ارتفاع يتراوح ما بين 1.4 – 1.6 m عن منصة الحفر . يلف الكبل الذي يحمل المفتاح حول بكرة خاصة مثبتة على إحدى عوارض البرج ، ويثبت في النهاية الأخرى للكبل ثقل موازن للمفتاح، وبالتالي يمكن تحريك المفتاح بسهولة في المستوى العمودي . يقوم المفتاح الأيسر بمنع دوران المواسير المثبتة بواسطة المزلات في الطاحون ، أو الموضوعة على الطاحون بواسطة الرافع ، وذلك بوضع هذا المفتاح أسفل الوصلة المؤنثة للمواسير وإغلاقه . يتم إحكام تثبيت المفتاح على المواسير بشد الكبل المثبت من إحدى نهايتيه إلى نهاية مقبض المفتاح ومن الأخرى إلى رجل البرج . أما المفتاح



الشكل (4–11) : مفتاح آلي لمواسير الحفر.

الأيمن فيثبت حول ذكر الماسورة التي يجري فكها . يتم تشغيل المفاتيح الآلية بواسطة جهاز فك المواسير بضغط الهواء .



الشكل (4-12): مفتاح يدوي (ذو سلاسل) .

1- مقبض. 2- فك. 3- مسمار شد بعزقة. 4- سلسلة.

4-1-1-2-6- جهاز قياس الوزن

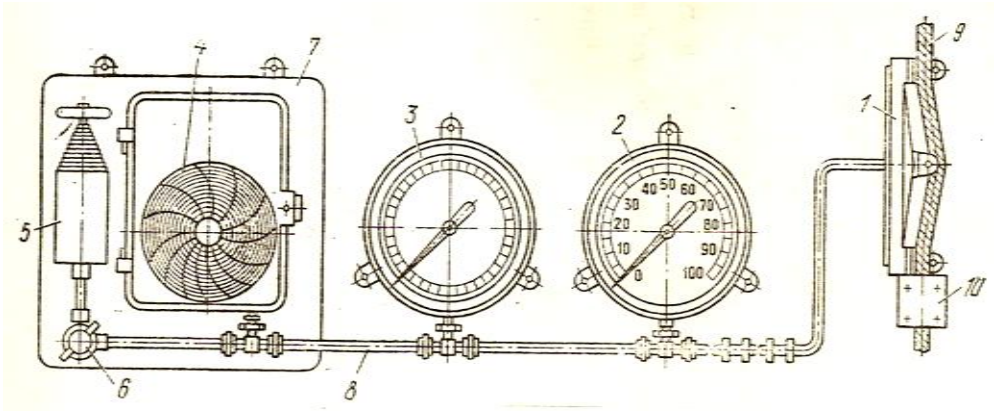
The weight indicator(Martin Decker)

يقوم هذا الجهاز بالوظائف الآتية [23] :

١ - مراقبة الوزن المعلق بالخطاف أثناء عمليات الرفع والتنزيل لمجموعات المواسير وكذلك أثناء عمليات الحفر الفعلية .

٢ - مراقبة مضخات سائل الحفر ومستواه في الخزانات .

يوصل جهاز قياس الوزن الشكل (4-13) مع الطرف الميت لكبل الحفر ويقوم بتحويل قوة التوتر التي يتعرض لها هذا الطرف إلى وزن (يساوي الوزن المعلق بالكبل) ويسجله إما بشكل رقمي أو على شكل منحني يبين تحول الوزن كتابع للزمن خلال زمن مقداره 24 ساعة ، الشكل (4-14) ، حيث يمكن من خلال هذا المنحني معرفة مجريات عملية الحفر وزمن العمل وزمن التوقف عن الحفر .



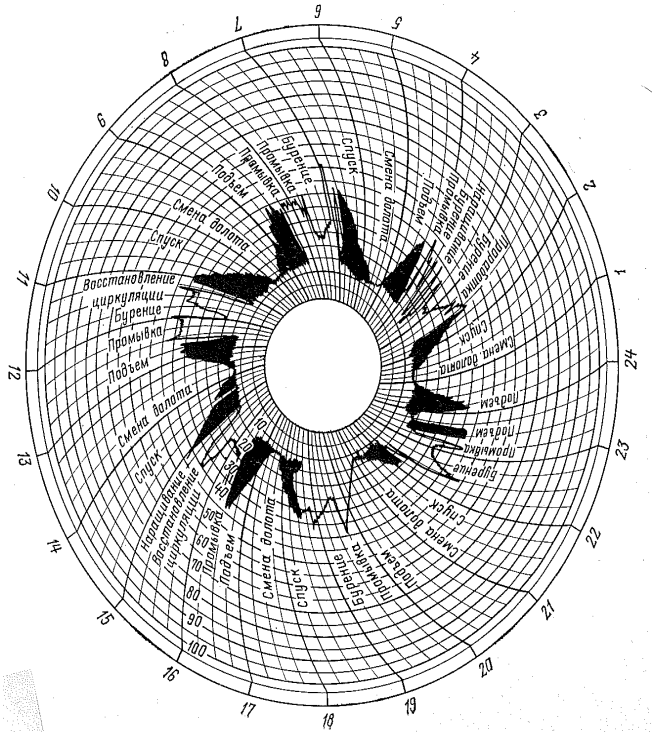
الشكل (4-13): جهاز قياس الوزن .

1- محول جهد الشد. 2- مقياس الوزن الرئيسي،ويسجل كامل الوزن المعلق بالخطاف.

3 - مقياس وزن ثانوي ، ويسجل الحمل المطبق على رأس الحفر. 4- مسجل بياني لتحول الوزن كتابع للزمن. 5- خزان لسائل غير قابل للتجمد. 6- صمام إقفال.

7- لوحة لتعليق كامل الأجهزة عليها. 8- أنابيب لوصل الأجزاء المختلفة فيما بينها .

9- الطرف الميت لكبل الحفر. 10- كتلة للتثبيت والتعليق .



الشكل (4-14) : منحني تحول الحمل على الخطاف مع الزمن خلال عملية الحفر.

4-1-1-3- مجموعة التدوير (Rotary Equipment) :

تبدأ هذه المجموعة من الأعلى بالرأس الهيدروليكي (Swivel) وتنتهي في الأسفل عند تلاقي رأس الحفر مع قاع البئر . ويقوم الرأس الهيدروليكي (الشكل 4-15) بالوظائف التالية [2،23،35] :

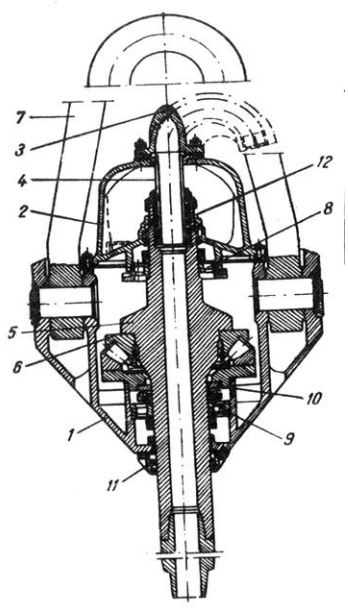
1- يتحمل وزن مجموعة مواسير الحفر ويسمح بدورانها في الوقت نفسه مع بقائه ثابتاً.

2- يعمل كحاجز لسائل الحفر الذي يمر من خلاله آنياً من خرطوم سائل الحفر باتجاه المواسير دون أن يسمح بتسرب هذا السائل.

يتصل بالرأس الهيدروليكي من الأسفل قلم الحفر (Kelley) الذي يتصل به من الأعلى من جهة وبمواسير الحفر من جهة أخرى ، وهو يسمح بنقل العزم من الطاحون الدوار إلى المواسير ، كما يسمح بتحريكها رأسياً وإنزالها في البئر . يحتوي طاحون الحفر (Rotor) على بطانة رئيسية تدير بطانة (تربيعة) قلم الحفر ، كما تسهل احتواء المزلات التي تمسك بالمواسير أثناء إضافة ماسورة أو أثناء إخراج المواسير . يمكن منع الطاحون عن الحركة تماماً بواسطة قفل مركب عليها وذلك أثناء فك المواسير يدوياً ، أو أثناء استخدام الحفر التوربيني بوجود طاحون الحفر .

4-1-1-4- مجموعة دوران سائل الحفر(Equipments of drilling fluid cycle):

وتتألف هذه المجموعة من : مضخات سائل الحفر ، القائم ، الخرطوم ، الرأس الهيدروليكي ، قلم الحفر ، مجموعة الحفر [2،23،35]. وتدرس هذه المجموعة بالتفصيل في مقرر سوائل الحفر .



الشكل (4-15) : الرأس الهيدروليكي .

1- جسم الرأس.

2- الغطاء العلوي.

7- أداة تعليق الرأس.

8-9- مضاجع شعاعية أسطوانية.

3- كوع لوصل الرأس مع الخرطوم المرن. 10- مضجع محوري اهتزازي.

4- الماسورة الاندفاعية. 11- الغطاء السفلي للرأس.

5- المرتكز الرئيسي. 12- حجرة عزل سائل الحفر.

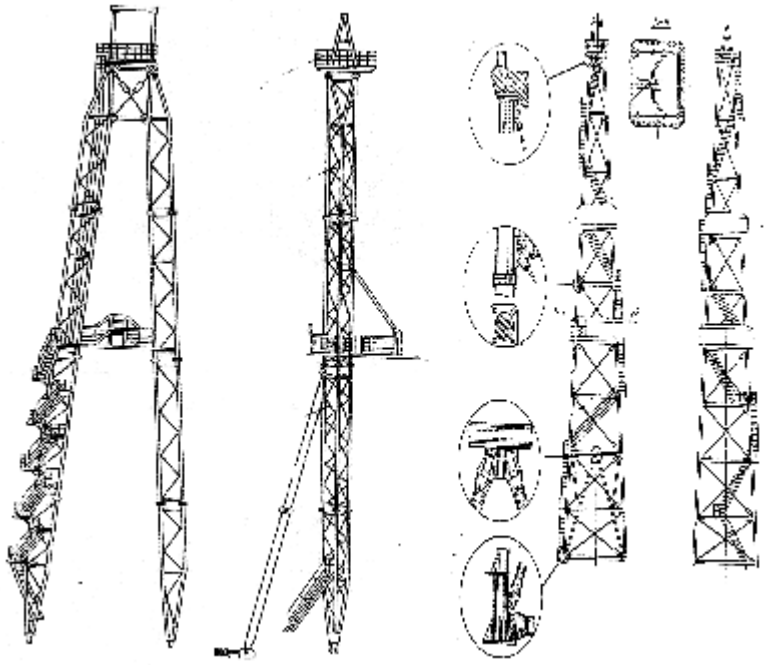
6- رولمان رئيسي.

4-1-1-5-البرج ودعائم جهاز الحفر(Derrick and substructure):

برج جهاز الحفر هو بناء معدني من الجوائز الفولاذية المرتبطة ببعضها بشكل محكم، وعليه تعلق مجموعات الرفع والتدوير ، كما تستند عليه أعمدة ومواسير الحفر أثناء عمليات الرفع والإنزال . ويتمتع البرج بارتفاع ومتانة كافيتين لتمكين أجهزة الرفع والإنزال من القيام بعملها أثناء عمليات الحفر ، ويؤمن أيضاً المكان المناسب لعمل عامل البرج خلال عمليات الرفع والإنزال .

أما بالنسبة إلى دعائم جهاز الحفر فهي تشكل الدعامة الأساسية لبرج الحفر ومعدات الرفع والإنزال .

ويوجد نوعان رئيسيان من أبراج الحفر [2، 13،23] : أبراج عادية رباعية القوائم (Conventional derrick)، وأخرى من النوع الصاري ثنائية القوائم (Mast) (الشكل 4-16) . يتكون البرج العادي من أربع قوائم (أربع نقاط استناد على قاعدة وحدة الحفر ، تتصل مع بعضها بمجموعة من العوارض وبطريقة تجعل البرج يتحمل قوة الشد التي يتعرض لها ويقاوم الانحناء . أما الصاري فيتكون من قائمتين فقط من الصلب ، تتصلان من الأعلى بواسطة محور مجموعة البكرات الثابتة ، وتستندان في الأسفل على سطح قاعدة وحدة الحفر على أنبوبين من الصلب يحدد طوليهما بحيث يكون الصاري متعامداً والقاعدة ، وبالتالي يحافظان على توازنه خلال عمليات الرفع والإنزال لمجموعات المواسير ، وكذلك خلال المراحل المختلفة لإنجاز البئر .



(b) (a)

الشكل (4–16) : برج جهاز الحفر .

(a) – برج رباعي القوائم مع توضيحات لعقد ربط المقاطع ولمنصة عامل البرج.

(b) – برج من النوع الصاري ثنائي القوائم .