الحفارات – Excavators

إعداد: الطالب سمير الإبراهيم، كلية الهندسة المدنية.
إشراف: الدكتورة المهندسة فداء شريقي، كلية الهندسة المدنية.

١. مقدمة:

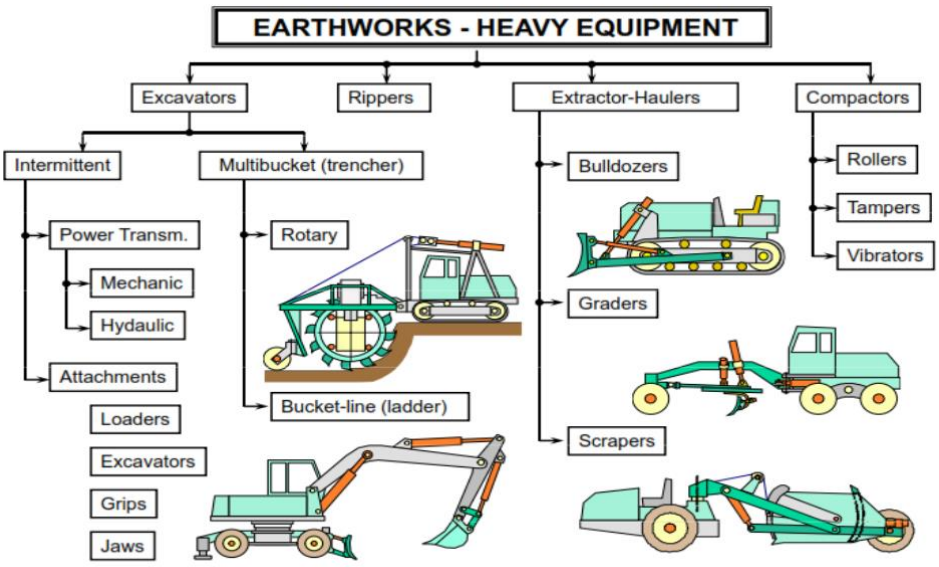
تعد الحفارات من أعظم الابتكارات الهندسية التي غيرت ملامح التطور العمراني والصناعي، حيث لعبت دوراً جوهرياً في عمليات البناء، والتعدين، والتنقيب عن الموارد الطبيعية. فمنذ اللحظة التي احتاج فيها الإنسان إلى شق الأرض لاستخراج الثروات أو تمهيد الطرق بدأت رحلة تطور هذه الآلات، حتى أصبحت اليوم رمزاً للتقدم التكنولوجي والقدرة على مواجهة التحديات الجيولوجية المعقدة.

إنّ فهم آلية عمل الحفارات وتصنيف أنواعها ودراسة التطورات الحديثة التي طرأت عليها يمنحنا رؤية أعمق حول دورها في تسريع عجلة التنمية، كما أن تحليل كفاءتها وتحديات تشغيلها وسبل تطويرها يفتح آفاقاً جديدةً لتحسين أدائها ويجعلها أكثر استدامةً وفعاليةً.

في هذا البحث سنسلط الضوء على عالم الحفارات، بدءاً من مفهومها وأهميتها، مروراً بأنواعها وتقنياتها المختلفة، وصولاً إلى تطبيقاتها المتعددة في مجالات الهندسة والبناء والتنقيب، كما سنناقش أبرز الابتكارات الحديثة التي ساهمت في تعزيز كفاءتها، مما يجعلها أداةً لا غنى عنها في جميع المشاريع، وبالأخص المشاريع الكبرى.

٢. معدات ثقيلة – Heavy equipment's:

المعدات الثقيلة يشير هذا المصطلح الى الآليات الثقيلة المعدة للاستخدام في الأعمال الإنشائية، وفي أغلب الأحيان الأعمال التي فيها تعامل مع التربة، ويطلق عليها أيضاً آليات ثقيلة أو معدات هندسية أو آليات هندسية أو معدات البناء، معظم هذه المعدات تستخدم أنظمة القيادة الهيدروليكية،[1] ، يوضح الشكل (١) بعض الحفارات الثقيلة بحسب آلية عملها، [2].



الشكل (١): تصنيف الحفارات الثقيلة بحسب آلية عملها، [2].

٣. فوائد المعدات الثقيلة في أعمال الحفر:

تلعب المعدات الثقيلة المستخدمة في أعمال الحفر دوراً محورياً في تنفيذ المشاريع الهندسية بكفاءةٍ ودقةٍ عاليةٍ، وتتمثل فوائدها فيما يلي، [2]:

١. زيادة الإنتاجية: تمكن المعدات الثقيلة (الحفارات) من تنفيذ مهام الحفر بسرعة ودقة أكبر مقارنةً بالطرق التقليدية، مما يقلل من الوقت اللازم لإنجاز المشاريع.
٢. تنوع المهام: تتيح الحفارات المجهزة بالمعدات الثقيلة تنفيذ مجموعة واسعة من العمليات، مثل الحفر والتسوية والتكسير والتحميل، مما يجعلها أدوات متعددة الاستخدامات.
٣. تحسين دقة الحفر: تساهم التكنولوجيا الحديثة في المعدات الثقيلة في تحسين دقة الحفر وتقليل الأخطاء التي قد تؤثر على جودة العمل أو سلامة الموقع.
٤. القدرة على العمل في البيئات القاسية: بفضل تصميمها القوي تستطيع المعدات الثقيلة العمل في ظروف صعبة مثل التربة الصخرية والمناطق الجبلية أو البيئات ذات درجات الحرارة المرتفعة أو المنخفضة.
٥. تقليل الجهد البشري: تعمل المعدات الثقيلة على تقليل الحاجة إلى العمل اليدوي الشاق، مما يعزز راحة العمال.
٦. تعزيز الأمان في مواقع العمل: توفر المعدات الثقيلة بيئة عمل أكثر أماناً، من خلال تقليل التفاعل المباشر للعمال مع التربة غير المستقرة التي قد تسبب انهيارات أو انزلاقات، مما يقلل من مخاطر الإصابات المهنية.
٧. تقليل التكاليف التشغيلية على المدى الطويل: على الرغم من أن المعدات الثقيلة قد تكون مكلفة في البداية، إلا أنها تساهم في خفض تكاليف التشغيل والصيانة من خلال زيادة الكفاءة وتقليل الحاجة إلى إصلاحات متكررة واختصار زمن إنجاز العمل.
٨. تحسين الجودة في المشاريع الهندسية: تؤدي المعدات الثقيلة دوراً أساسياً في تحقيق الدقة المطلوبة في مشاريع البنية التحتية، مما يضمن تنفيذ الأعمال وفقاً للمعايير الهندسية المطلوبة.
٩. القدرة على التعامل مع المشاريع الضخمة: تتيح المعدات الثقيلة تنفيذ مشاريع واسعة النطاق، مثل شق الطرق وحفر الأنفاق وإنشاء السدود وتأسيس المباني الشاهقة التي يصعب إنجازها بدون هذه الآلات.
١٠. دعم الاستدامة البيئية: مع تطور التكنولوجيا أصبحت المعدات الثقيلة أقل استهلاكاً للوقود وأقل انبعاثاً للغازات الضارة، مما يساهم في تقليل التلوث البيئي لعمليات الحفر.

تؤكد هذه الفوائد الدور الهام للمعدات الثقيلة (الحفارات) في تحسين الأداء، مما يجعلها عنصراً أساسياً لا يمكن الاستغناء عنها في تطوير قطاع البناء والهندسة المدنية.

٤. الحفارات–Excavators:

الحفارات عبارة عن آلات ضخمة، تعتبر من المعدات الثقيلة المخصصة للأعمال الضخمة من هدم وحفر وجر ورفع،[1]، يوضح الشكل (٢) أحد هذه الحفارات، [3]. حيث أن أضخم تلك الحفارات تعمل على استخراج الفحم من مناجم سطحية وتصل كتلة الرافعة فقط نحو 2000 طن.

الشكل (٢): يوضح أحد الحفارات، [3].

تتكون الحفارة المعتادة من دلو ضخم (طفرة أو حفار) وسيارة شاحنة ومنصة للقيادة، ويوجد تحت المنصة قاعدة دوارة (تعرف باسم المنزل)، كما يوضح الشكل (٢)، [3]، وكل حركة ووظيفة تقوم بها الحفارة تعتمد على استخدام السوائل الهيدروليكية التي تعمل بالضغط، سواءً كان ذلك مع الكباش (الكبّاش في الحفارة هو ملحق هيدروليكي يستخدم للإمساك بالمواد الثقيلة مثل الأخشاب، الصخور، والخردة، مما يسهل عمليات الرفع والنقل بدقة وكفاءة) أو المحركات الخاصة بها،[4].

١,٤. وظائف الحفارة:

١. حفر الخنادق والأساسات.
٢. استخدام الحفارة في رفع وتحريك وتحميل مواد البناء مثل الحديد والخرسانة المسبقة الصنع، مما يسهل عمليات التشييد بسرعة وكفاءة.
٣. تقطيع المواد والمعدات الضخمة، أي استخدام الحفارة المزودة بقواطع هيدروليكية لقص الهياكل المعدنية والأنابيب الكبيرة أو الخرسانة في مواقع الهدم وإعادة التدوير.
٤. تستخدم في نقل الأخشاب من الغابات.
٥. تستخدم في أعمال الحفر والتجريف.

٢,٤. أحجام الحفارات:

تُصنع الحفارات بنماذج وأحجام مختلفة حسب الغرض المطلوب منها، حيث يزن أصغر نموذج حوالي 1610 كغ (3549 رطل)، وبقوة 19 حصاناً، وأكبر نموذج يزن 84.980 كلغ (187.360 رطل) وبقوة بين 513 و580 حصاناً.

٣,٤. أقسام الحفارات:

أ- المحرك الرئيسي.
ب- منظومة الهيدروليك.
ج- مجموعة السرفة والصينية.
د- ذراع الحفارة والكلية.
هـ- غرفة القيادة.

أ- المحرك الرئيسي(Main Engine):

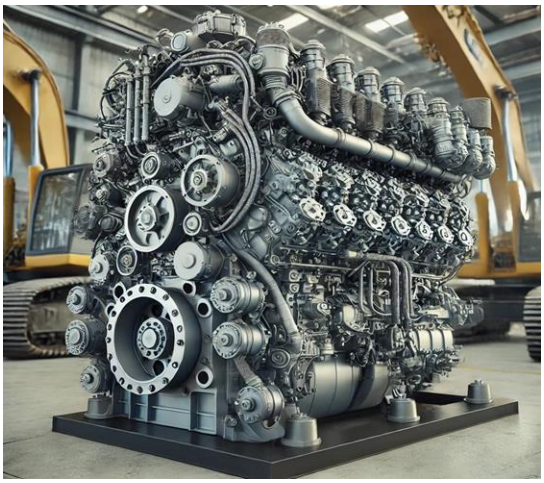
المحرك هو القلب النابض للحفارة، حيث يولد الطاقة اللازمة لتشغيل جميع الأنظمة الأخرى، وللمحرك نوعين:

- ديزل: وهو الأكثر استخداماً بسبب قوته وكفاءته في استهلاك الوقود.
- هجين أو كهربائي: يستخدم في بعض الحفارات الحديثة لتقليل الانبعاثات وتحسين الكفاءة.

وللمحرك عدة وظائف منها:

* تشغيل المضخات الهيدروليكية.
* توليد الطاقة اللازمة لتحريك الحفارة وتنفيذ عمليات الحفر والرفع.
* تزويد الطاقة الإضافية للأنظمة الإلكترونية والمساعدة.

والشكل (٣) يوضح أحد المحركات، [3].



الشكل (٣): أحد محركات الحفارات، [3].

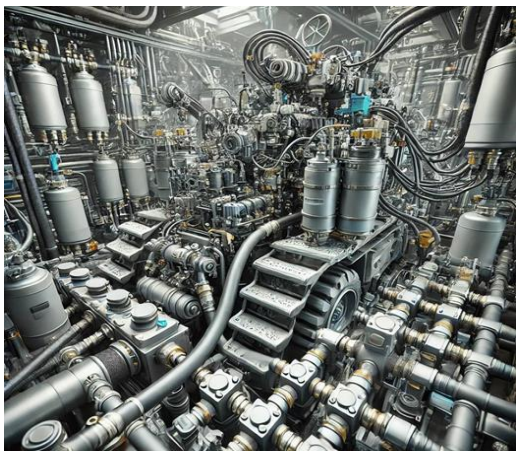
ب- منظومة الهيدروليك(Hydraulic System):

تعتبر هذه المنظومة الجزء الأساسي المسؤول عن تشغيل وتحريك مختلف أجزاء الحفارة، كما يظهر في الشكل (٤)، [3]، وتتألف من الأجزاء التالية:

- المضخات الهيدروليكية: تحول الطاقة الميكانيكية من المحرك إلى طاقة هيدروليكية.
- الأسطوانات الهيدروليكية: تتحكم في حركة الذراع والملحقات الأخرى للحفارة.
- الصمامات والخراطيم: تنظم تدفق الزيت الهيدروليكي بين المكونات المختلفة.

هذه المنظومة تساعد في:

- ✓ تحريك الذراع والكلية بسهولة.
- ✓ تدوير الصينية وتحريك السرفة.
- ✓ رفع وإنزال الجرافة أو أي ملحقات أخرى.



الشكل (٤): منظومة الهيدروليك في الحفارات، [3].

ج- مجموعة السرفة والصينية (Undercarriage & Slewing System):

السرفة (Caterpillar Tracks) هي الجزء السفلي للحفارة، وتكون بأحد الشكلين التاليين:

- جنزير(Tracks): يمنح ثباتاً عالياً على الأراضي غير المستوية، والشكل (٥) يوضح الجنزير الحامل للحفارة.
- عجلات (Wheeled Excavators): مناسبة للأراضي الصلبة والمعبدة.

الصينية (Slewing System): هي الجزء الذي يسمح للحفارة بالدوران ٣٦٠ درجة، وتتكون من قاعدة دوارة تعمل بالنظام الهيدروليكي، فهي توفر المرونة في العمل دون الحاجة لتحريك السرفة بأكملها، والشكل (٥) يوضح الصينية الحاملة لغرفة القيادة.

الشكل (٥): مجموعة السرفة والصينية، [3].

د- ذراع الحفارة والكلية والجرافة (Boom, Arm & Bucket):

الذراع (Boom): الجزء الأساسي المتصل بجسم الحفارة، يتحكم في مدى وصولها.

الكلية (Arm/Stick): تربط الذراع بالجرافة، وتتحكم في مدى الحفر وعمقه.

الجرافة(Bucket): يتم استخدامها للحفر أو التحميل، وتختلف حسب نوع التربة والغرض من الحفر.

والشكل (٦) يوضح ذراع الحفارة والكلية والجرافة.

الشكل (٦): ذراع الحفارة والكلية والجرافة، [3].

بعض الحفارات يمكن تزويدها بملحقات أخرى مثل:

- المطرقة الهيدروليكية (Hydraulic Breaker) لكسر الصخور.
- المخالب الهيدروليكية (Grapple) لالتقاط المواد الثقيلة، [5].

هـ- غرفة القيادة (Cab & Controls):

غرفة القيادة هي المكان الذي يجلس فيه السائق ويتحكم في جميع وظائف الحفارة، ويوضح الشكل (٧) مقطعاً في غرفة القيادة.

الشكل (٧): يوضح مقطعاً في غرفة القيادة، [3].

✳ المكونات الأساسية لغرفة القيادة:

- المقعد المريح: مزود بأنظمة تتعلق براحة السائق.
- أذرع التحكم (Joysticks): تستخدم لتحريك الذراع والكلية والصينية.
- شاشة عرض (Display Panel): تعرض معلومات عن أداء الحفارة مثل مستوى الوقود والضغط الهيدروليكي.
- أنظمة الأمان: تشمل كاميرات الرؤية الخلفية، أنظمة التوازن، وأجهزة الإنذار، [5].

تم تزويد بعض الحفارات الحديثة بأنظمة تحكم متقدمة مثل GPS ضمن غرفة القيادة لمساعدة السائق في الحفر بدقة عالية.

٤,٤. التطبيقات المتعددة للحفارات في مجالات الهندسة والبناء والتنقيب:

تلعب الحفارات دوراً حيوياً في العديد من المجالات الصناعية والهندسية، حيث تساهم بشكل أساسي في تنفيذ المشاريع الكبرى بفعالية ودقة، وفيما يلي أهم تطبيقاتها، [7],[6]:

١.٤.٤ في مجال الهندسة المدنية والبناء:

* أعمال الحفر والتسوية: تُستخدم الحفارات لحفر الأساسات للمباني والجسور والسدود، وضبط مستوى الأرض قبل البناء.
* شق الطرق والأنفاق: تقوم الحفارات بحفر الطرق السريعة وتمهيدها، إضافةً إلى حفر الأنفاق وشبكات المترو.
* الهدم وإعادة التدوير: تُستخدم الحفارات المزودة بمطارق هيدروليكية وأدوات قص لهدم المباني القديمة وإعادة تدوير المواد.
* تركيب الأنابيب والبنية التحتية: يتم استخدامها في حفر القنوات لوضع أنابيب المياه والصرف الصحي والكابلات الكهربائية.

٢.٤.٤ في مجال التعدين والتنقيب:

* استخراج المعادن والموارد الطبيعية: تُستخدم في عمليات الحفر العميق لاستخراج الفحم والحديد والنحاس من المناجم.
* التنقيب عن النفط والغاز: تُستخدم الحفارات في الحفر الأفقي والعمودي للوصول إلى الطبقات الجوفية المحتوية على النفط والغاز الطبيعي.
* نقل الصخور والتربة: تعمل الحفارات في المناجم والمحاجر لتحميل الصخور والتربة في الشاحنات الضخمة.
* الاستكشاف الجيولوجي: تُستخدم لحفر عينات من التربة والصخور لدراسة مكوناتها قبل بدء عمليات التعدين.

٣.٤.٤ في مجال الأعمال الزراعية والبيئية:

* حفر القنوات المائية والري: تُستخدم لإنشاء شبكات الري وحفر القنوات والسدود الزراعية.
* إعداد الأراضي الزراعية: تساعد في إزالة الأشجار والصخور وتهيئة التربة للزراعة.
* إدارة النفايات وإعادة التدوير: تُستخدم في نقل ومعالجة النفايات الضخمة وإعادة تدوير المواد القابلة للاستخدام.

٤.٤.٤ في مجال الكوارث والإنقاذ:

* إزالة الأنقاض بعد الكوارث الطبيعية: تُستخدم الحفارات لرفع الأنقاض الناتجة عن الزلازل والفيضانات والانهيارات الأرضية لإنقاذ الأشخاص العالقين.
* إخماد الحرائق في الغابات: تُستخدم لإنشاء ممرات لمنع انتشار الحرائق في المناطق الحراجية.
* حفر الملاجئ والخنادق: تُستخدم في حالات الطوارئ لإنشاء ملاجئ تحت الأرض أو خنادق للوقاية من المخاطر.

٥.٤.٤ في المشاريع البحرية والإنشائية تحت الماء:

* حفر الموانئ والمرافئ: تُستخدم في توسيع وتعميق الموانئ والممرات المائية.
* بناء الحواجز البحرية والسدود: تُستخدم الحفارات الخاصة لحفر ووضع الأساسات في قاع البحر للمشاريع الهندسية البحرية.

٥,٤. أبرز الابتكارات الحديثة التي ساهمت في تعزيز كفاءة الحفارات:

مع التطور التكنولوجي السريع شهدت صناعة الحفارات تحسينات كبيرة ساهمت في زيادة كفاءتها وتقليل استهلاك الوقود وتحسين الأمان والإنتاجية. فيما يلي أبرز الابتكارات الحديثة التي جعلت الحفارات أكثر تطوراً واستدامةً، [7] ,[6]:

١.٥.٤ تقنيات الأتمتة والذكاء الاصطناعي (AI & Automation)

❖ الحفارات الذاتية القيادة: بعض الحفارات الحديثة مزودة بأنظمة تحكم ذاتي تسمح لها بالعمل دون تدخل بشري مباشر، مما يقلل من المخاطر في المواقع الخطرة.

❖ المستشعرات الذكية والكاميرات ٣٦٠°: تتيح مراقبة البيئة المحيطة لتفادي العوائق وتحسين دقة الحفر، مما يقلل من الأخطاء ويزيد من كفاءة العمل.

❖ أنظمة التوجيه الذكي (GPS & GIS): تساعد هذه التقنيات في تحديد مواقع الحفر بدقة، مما يسهل عمليات الحفر في المشاريع الضخمة مثل الطرق السريعة والمباني الشاهقة.

٢.٥.٤ التقليل من استهلاك الوقود واستخدام الطاقة النظيفة:

❖ الحفارات الهجينة (Hybrid Excavators): تعمل على تخزين الطاقة الناتجة عن الفرامل واستخدامها لاحقاً، مما يقلل من استهلاك الوقود بنسبة تصل إلى ٣٠٪.

❖ الحفارات الكهربائية: مع ازدياد التركيز على الاستدامة، بدأت الشركات في تطوير حفارات كهربائية بالكامل تعمل بالبطاريات، مما يقلل من الانبعاثات الكربونية ويجعلها صديقة للبيئة.

❖ تقنيات التحكم في استهلاك الوقود: أنظمة متطورة مثل Eco Mode التي تقوم تلقائياً بضبط سرعة المحرك حسب الحاجة، مما يقلل من الهدر ويحسن كفاءة التشغيل.

٣.٥.٤ الأنظمة الهيدروليكية المتطورة:

❖ المضخات الذكية: تستخدم تقنيات متقدمة لتوزيع الضغط الهيدروليكي بكفاءة، مما يزيد من قوة الحفارات مع تقليل استهلاك الطاقة.

❖ الصمامات المتغيرة الضغط: تسمح بزيادة التحكم في تدفق الزيت الهيدروليكي، مما يجعل الحفارات أكثر استجابةً وسرعةً في تنفيذ المهام.

❖ تقنيات تقليل الضوضاء والاهتزازات: أصبحت الحفارات أقل إزعاجاً أثناء العمل في المناطق السكنية من خلال تحسينات في التصميم الهيدروليكي.

٤.٥.٤ استخدام مواد متطورة في التصميم والتصنيع:

- مواد أخف وأقوى: تم تطوير هياكل الحفارات باستخدام سبائك الألمنيوم والمواد المركبة، مما يجعلها أخف وزناً وأكثر مقاومةً للضغط والتآكل.
- تعزيز قوة الذراع والجرافة: أصبحت الحفارات أكثر قدرةً على التعامل مع الصخور الصلبة والتربة القاسية باستخدام تقنيات جديدة مثل الطلاء المقاوم للتآكل.

٥.٥.٤ التكامل مع تقنيات البيانات والاتصال:

- أنظمة مراقبة عن بُعد: تتيح تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) لمديري المشاريع مراقبة أداء الحفارات من خلال لوحات تحكم رقمية، مما يساعد في تتبع الأعطال واستهلاك الوقود وتحليل كفاءة العمل.
- الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance): بفضل الذكاء الاصطناعي وأجهزة الاستشعار، يمكن للحفارات الحديثة التنبؤ بالأعطال المحتملة قبل وقوعها، مما يقلل من فترات التوقف المفاجئ ويزيد من عمر الآلة.
- تقنيات الاتصال السحابي (Cloud Integration): تسمح بمزامنة بيانات التشغيل وتحليل الأداء في الوقت الحقيقي، مما يعزز من اتخاذ قرارات دقيقة لتحسين الإنتاجية.

٦.٥.٤ تحسين وسائل الراحة والأمان للسائقين:

- غرف قيادة معزولة ومريحة: تم تحسين مقصورات القيادة باستخدام أنظمة عزل الضوضاء والاهتزاز، مع مقاعد مريحة وشاشات لمس للتحكم الكامل في الحفارة.
- أنظمة فرامل أوتوماتيكية: تقلل من مخاطر الحوادث من خلال تفعيل الفرامل تلقائياً عند اكتشاف عوائق مفاجئة.

الحفارة المتطورة تكنولوجياً

حفارة – Bagger 293 أكبر وأحدث حفارة في العالم

لمحة عامة:

تُعتبر الحفارة Bagger 293 واحدةً من أضخم وأحدث الحفارات المتنقلة في العالم، وهي تنتمي إلى فئة الحفارات الدوارة (Bucket Wheel Excavators - BWE)، صُنعت من قبل الشركة الألمانية TAKRAF، وتم تطويرها لتكون أكثر كفاءةً وإنتاجيةً من سابقاتها، مثل Bagger 288، تُستخدم هذه الحفارة العملاقة بشكل أساسي في استخراج الفحم والتربة في المناجم المفتوحة، والشكل (٨) يحتوي صورة لهذه الحفارة الضخمة، [6].

الشكل (٨): الحفارة Bagger 293، [6].

المواصفات التقنية لحفارة Bagger 293:

يوضح الجدول (١) مواصفات الحفارة Bagger 293، فقد زُودت بعجلة ضخمة تدور باستمرار وتحمل 18 دلواً يمكن لكلٍ منها حمل حوالي $15m^3$ من التربة أو الفحم في كل مرة، كما زُودت الحفارة بأذرع ضخمة تقوم بنقل المواد المستخرجة عبر سلسلة من السيور الناقلة إلى الشاحنات أو أنظمة النقل الأخرى، ونظراً لحجمها الهائل تتحرك الحفارة عبر مسارات مجنزرة ضخمة توفر لها الثبات أثناء التنقل في مواقع العمل.

الجدول (١): مواصفات الحفارة Bagger 293، [6].

الصفة	الوزن ton	الطول m	الارتفاع m	عرض الجرافة الدوارة m	عدد الدلاء في العجلة	قدرة الحفر اليومية m^3	الطاقة التشغيلية كهربائية بالكامل
القيمة	14200	225	96	21.3	18 دلواً ضخماً	أكثر من ٢٤٠٠٠٠	١٦.٥٦ ميغاواط

التقنيات المتطورة في حفارة Bagger 293:

- تم تجهيز الحفارة بأنظمة تحليل البيانات والذكاء الصناعي (AI) لتحديد أفضل لمناطق الحفر وتقليل الأخطاء وتحسين كفاءة التشغيل.
- يمكن تشغيل الحفارة آلياً والتحكم بها عن بُعد باستخدام أنظمة متطورة، مما يقلل من الحاجة إلى وجود عاملين داخلها.
- على الرغم من الحجم الهائل للحفارة Bagger 293 إلا أنها تعمل بالكامل بواسطة الكهرباء، مما يجعلها أكثر صداقةً للبيئة مقارنةً بالحفارات العاملة بالوقود.
- زُودت الحفارة بتقنيات تحديد المواقع المتطور عبر الأقمار الصناعية (GPS) لتحليل الطبقات الجيولوجية وضمان دقة الحفر.

استخدامات حفارة Bagger 293:

- استخراج الفحم والمعادن في المناجم المفتوحة.
- إزالة التربة والصخور على نطاق واسع.
- تحريك كميات ضخمة من الأرض لإنشاء مشاريع البنية التحتية.

حقائق مذهلة عن Bagger 293:

دخلت موسوعة غينيس للأرقام القياسية كأكبر مركبة برية متحركة في العالم.

تحتاج إلى فريق عمل مكون من 5 أشخاص فقط لتشغيلها يومياً.

يمكنها حفر ما يعادل مساحة ملعب كرة قدم كامل بعمق ٣٠ متراً خلال يوم واحد فقط!

فتأمل يا رعاك الله...

المراجع:

١. تكنولوجيا الإنشاءات، عبد الكريم الشامي، منشورات جامعة حلب.

2. Dynapac catalogues

٣. برنامج SolidWorks، و Fusion 360 و Photoshop لتحسين إضاءة الصور، تصميم الباحث سمير الابراهيم.

٤. موقع Caterpillar الرسمي.

٥. موسوعة ويكيبيديا (Excavator) .

6. EN.WIKIPEDIA.ORG
7. AR.WIKIPEDIA.ORG