International Journal for Scientific Research (IJSR)

المجلة الدولية للبحوث العلمية

IJSR

Vol. (5), No. (8) August 2026 الإصدار (5)، العدد (8)

أثر إدارة الطاقة على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بينبع: دراسة ميدانية

مجد خالد الغنيم

ماجستير إدارة المخاطر، كلية الإدارة، جامعة ميدأوشن، الإمارات العربية المتحدة

Ksa_mjed@hotmail.com

المستخلص

هدفت هذه الدراسة إلى قياس أثر إدارة الطاقة بأبعادها (التخطيط الطاقوي، أنظمة المراقبة والتحكم، الصيانة الوقائية للمعدات) على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية. واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، حيث تم تصميم استبانة مكونة من (22) فقرة وُزّعت على عينة طبقية عشوائية بلغت (202) مفردة من العاملين في المستويات الإدارية والإشرافية والفنية المعنيين بإدارة الطاقة والعمليات التشغيلية والصيانة في خمسة مصانع للبتروكيماويات. وتم تحليل البيانات باستخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط والمتعدد.

وأظهرت النتائج أن مستوى ممارسات إدارة الطاقة جاء بدرجة عالية بمتوسط حسابي (3.46)، وأن جميع أبعاد إدارة الطاقة لها أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى ($\alpha \leq 0.05$) على خفض التكاليف التشغيلية. وقد فسّرت أبعاد إدارة الطاقة مجتمعة ما نسبته (54.9%) من التباين في خفض التكاليف التشغيلية. وجاء بُعد أنظمة المراقبة والتحكم في المرتبة الأولى من حيث التأثير، يليه التخطيط الطاقوي، ثم الصيانة الوقائية للمعدات. وأوصت الدراسة بتعزيز الاستثمار في أنظمة المراقبة الذكية، وتطوير مؤشرات أداء طاقوية قابلة للقياس، وتبني تقنيات التحليل التنبؤي في الصيانة الوقائية، والسعي نحو الحصول على شهادة ISO 50001 لضمان استدامة جهود التحسين.

الكلمات المفتاحية: إدارة الطاقة، التخطيط الطاقوي، أنظمة المراقبة والتحكم، الصيانة الوقائية، خفض التكاليف التشغيلية، مصانع البتروكيماويات، ينبع الصناعية.

The impact of energy management on reducing operating costs in Yanbu petrochemical plants: A field study

Majd Khalid Alghunaim

Master of Risk Management, College of Management, Med-Ocean University, United Arab Emirates

Ksa_mjed@hotmail.com

Abstract

This study aimed to measure the impact of energy management with its dimensions (energy planning, monitoring and control systems, preventive maintenance of equipment) on reducing operational costs in petrochemical factories in Yanbu Industrial City. The study adopted the descriptive analytical approach, where a questionnaire consisting of (22) items was designed and distributed to a stratified random sample of (202) respondents from employees at managerial, supervisory, and technical levels involved in energy management, operations, and maintenance in five petrochemical factories. Data were analyzed using simple and multiple linear regression analysis.

The results revealed that the level of energy management practices was high with a mean of (3.46), and that all dimensions of energy management have a statistically significant impact at the level ($\alpha \leq 0.05$) on reducing operational costs. The combined dimensions of energy management explained (54.9%) of the variance in reducing operational costs. The monitoring and control systems dimension ranked first in terms of impact, followed by energy planning, then preventive maintenance of equipment. The study recommended enhancing investment in smart monitoring systems, developing measurable energy performance indicators, adopting predictive analysis techniques in preventive maintenance, and pursuing ISO 50001 certification to ensure the sustainability of improvement efforts.

Keywords: Energy Management, Energy Planning, Monitoring and Control Systems, Preventive Maintenance, Operational Cost Reduction, Petrochemical Factories, Yanbu Industrial City.

المقدمة

يشهد العالم اليوم اهتماماً متزايداً بإدارة الطاقة باعتبارها أحد المداخل الإدارية الحديثة التي تُمكّن المنظمات الصناعية من مواجهة التحديات الاقتصادية والبيئية المتصاعدة، وتعد إدارة الطاقة منظومة متكاملة من السياسات والإجراءات والممارسات التي تهدف إلى تحسين كفاءة استخدام الطاقة في جميع مراحل العمليات الإنتاجية، بدءاً من التخطيط والرقابة وصولاً إلى التقييم والتحسين المستمر، وقد تطور مفهوم إدارة الطاقة من مجرد إجراءات تقنية بسيطة لترشيد الاستهلاك إلى فلسفة إدارية شاملة تتضمن أبعاداً استراتيجية وتشغيلية وتقنية وبشرية، وأصبحت جزءاً لا يتجزأ من منظومة الإدارة المتكاملة في المنظمات الصناعية الرائدة.

كما أسهم صدور المواصفة الدولية ISO 50001 لأنظمة إدارة الطاقة في توحيد المفاهيم والممارسات وتوفير إطار معياري يُمكّن المنظمات من تطبيق إدارة الطاقة بشكل منهجي ومنظم، حيث أثبتت الدراسات أن تطبيق هذه المواصفة يُحقق وفورات طاقوية تتراوح بين 3-10% خلال السنوات الأولى من التطبيق. (Thollander & Palm, 2022)

وتتضمن إدارة الطاقة الفعّالة مجموعة من الأبعاد المترابطة التي تعمل بتكامل لتحقيق الأهداف المنشودة، ويُمثّل التخطيط الطاقوي البُعد الأول الذي يشمل وضع الرؤية والسياسات والأهداف الطاقوية، وتحديد مؤشرات الأداء الرئيسية، ورصد الموارد والميزانيات اللازمة لبرامج ترشيد الطاقة، فضلاً عن تحليل أنماط الاستهلاك وتحديد الفرص التحسينية، ويتمثل في أنظمة المراقبة والتحكم التي تُتيح قياس ورصد استهلاك الطاقة بشكل آني ومستمر، وتحديد مواطن الهدر والفاقد، واتخاذ الإجراءات التصحيحية الفورية، وتوفير البيانات اللازمة لاتخاذ القرارات المبنية على الأدلة. (Sudhakaran et al., 2023)

وتكتسب إدارة الطاقة أهميتها الاستراتيجية من تأثيرها المباشر على أداء المنظمات الصناعية من أبعاد متعددة. فمن الناحية الاقتصادية، تُسهم إدارة الطاقة في خفض تكاليف التشغيل وتحسين هوامش الربحية وتعزيز القدرة التنافسية في الأسواق المحلية والعالمية، وتُساعد في تقليل الانبعاثات الكربونية والملوثات الناتجة عن عمليات الاحتراق واستهلاك الطاقة، مما يدعم التزام المنظمات بمتطلبات الاستدامة والمسؤولية الاجتماعية.

وتُمثّل التكاليف التشغيلية أحد أهم المحددات الرئيسية للأداء المالي والقدرة التنافسية للمنظمات الصناعية، وتشمل جميع النفقات والمصروفات المرتبطة بتشغيل المنظمة وإدارة عملياتها اليومية لإنتاج السلع أو تقديم الخدمات. وتتضمن التكاليف التشغيلية في القطاع الصناعي عدة بنود رئيسية، أبرزها تكاليف الطاقة والمواد الخام والعمالة المباشرة وغير المباشرة، وتكاليف الصيانة والإصلاح، والمصروفات الإدارية والعمومية، وتكاليف التخزين والنقل والتوزيع، وتتفاوت الأهمية النسبية لكل بند من هذه البنود وفقاً لطبيعة الصناعة وخصائصها، ففي الصناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة كالبتروكيماويات والإسمنت والحديد والصلب قد تُشكّل تكاليف الطاقة ما بين 40-60% من إجمالي التكاليف التشغيلية، مما يجعلها محوراً رئيسياً لجهود الترشيد والتحسين (البغدادي، 2023).

ويُعدّ خفض التكاليف التشغيلية هدفاً استراتيجياً تسعى إليه المنظمات الصناعية بمختلف أحجامها وأنشطتها، وذلك لتعزيز

هوامش الربحية وتحسين العائد على الاستثمار وضمان الاستمرارية والنمو في بيئة أعمال تتسم بالتنافسية الشديدة والتغير المستمر، وتتعدد المداخل والاستراتيجيات المستخدمة لخفض التكاليف التشغيلية في الفكر الإداري المعاصر، ومن أبرزها التصنيع الرشيق الذي يُركّز على التخلص من الهدر بجميع أشكاله، وإدارة الجودة الشاملة التي تُقلل من تكاليف الفشل وإعادة العمل، وإعادة هندسة العمليات التي تُعيد تصميم العمليات بشكل جذري لتحسين الأداء، فضلاً عن الأتمتة والتحول الرقمي والذكاء الاصطناعي الذي يُسهم في رفع الإنتاجية وتقليل الاعتماد على العمالة. (السيد، 2023).

وتأتي هذه الدراسة لاستكشاف أثر إدارة الطاقة بأبعادها الثلاثة (التخطيط الطاقوي، أنظمة المراقبة والتحكم، الصيانة الوقائية للمعدات) على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية، سعياً لتقديم إسهام علمي وعملي يُثري الأدبيات العربية في هذا المجال، ويُوفّر لصناع القرار في القطاع الصناعي السعودي توصيات مبنية على أدلة علمية تدعم جهودهم في تحسين الأداء وتعزيز القدرة التنافسية وتحقيق أهداف رؤية المملكة 2030.

مشكلة الدراسة

تُعدّ صناعة البتروكيماويات من أكثر الصناعات كثافةً في استهلاك الطاقة على المستوى العالمي، إذ تستحوذ على ما يقارب 10% من إجمالي الطلب العالمي على الطاقة الصناعية وفقاً لتقارير وكالة الطاقة الدولية (IEA, 2023) وفي ظل التحديات الاقتصادية المتصاعدة والتقلبات في أسعار الطاقة والمواد الخام، أصبحت إدارة الطاقة ضرورة استراتيجية وليست خياراً ثانوياً للمنشآت الصناعية الساعية للحفاظ على قدرتها التنافسية. وتشير الدراسات إلى أن تكاليف الطاقة تُشكّل ما بين 40-60% من التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات (البغدادي، 2023)، مما يجعل ترشيد استهلاك الطاقة مدخلاً محورياً لخفض التكاليف وتحسين الربحية.

وقد أكدت دراسة (Thollander & Palm, 2022) أن تطبيق أنظمة إدارة الطاقة وفق المعايير الدولية كـ ISO 50001 يُحقق وفورات تتراوح بين 3-10% من إجمالي استهلاك الطاقة، بينما أشارت دراسة (Sudhakaran et al., 2023) إلى إمكانية تحقيق وفورات طاقوية تصل إلى 6.25 كوادريليون وحدة حرارية بحلول عام 2050 من خلال تبني تقنيات كفاءة الطاقة في الصناعات كثيفة الاستهلاك.

ويتضح وجود فجوة بحثية واضحة؛ فعلى صعيد الهدف، ركزت معظم الدراسات العربية كدراسة (بوذريع وسراج، 2022) على ترشيد الطاقة من منظور بيئي واستدامة، ودراسة (السيد، 2023) على التصنيع الرشيق وخفض التكاليف دون التركيز على إدارة الطاقة تحديداً، بينما تناولت الدراسات الأجنبية كدراسة (Sudhakaran et al., 2023) كفاءة الطاقة من منظور إزالة الكربون، ولم تُعالج أيٌّ منها العلاقة المباشرة بين إدارة الطاقة وخفض التكاليف التشغيلية في قطاع البتروكيماويات تحديداً. وعلى صعيد الأبعاد، اقتصرت الدراسات السابقة على تناول بُعد أو بُعدين من أبعاد إدارة الطاقة.

وبناءً على ما سبق، تتبلور مشكلة الدراسة في السؤال الرئيسي التالي: ما أثر إدارة الطاقة بأبعادها (التخطيط الطاقوي، أنظمة المراقبة والتحكم، الصيانة الوقائية للمعدات) على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية؟

أهمية الدراسة

الأهمية العلمية (النظرية):

تستمد الدراسة الحالية أهميتها العلمية من عدة اعتبارات:

- تُسهم هذه الدراسة في إثراء المكتبة العربية بدراسة علمية متخصصة تتناول العلاقة بين إدارة الطاقة وخفض التكاليف التشغيلية في قطاع البتروكيماويات، وهو ما يُعد إضافة نوعية للأدبيات العلمية في هذا المجال.
- تُعالج هذه الدراسة فجوة بحثية واضحة في الدراسات العربية، إذ لم تتناول أي دراسة سابقة -في حدود علم الباحث -أثر إدارة الطاقة على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية بشكل مباشر ومتكامل.
- تُقدم الدراسة إطاراً نظرياً متكاملاً يربط بين أبعاد إدارة الطاقة (التخطيط الطاقوي، أنظمة المراقبة والتحكم، الصيانة الوقائية للمعدات) وخفض التكاليف التشغيلية، مما يُوفر أساساً نظرياً للباحثين في دراسات مستقبلية.
- تُسهم الدراسة في بناء نموذج بحثي يمكن اختباره وتطبيقه في بيئات صناعية أخرى، مما يُعزز من قابلية التعميم والاستفادة

من نتائج الدراسة.

- تُقدم الدراسة استبانة مُحكّمة وموثوقة يمكن للباحثين الاستفادة منها في دراسات مماثلة مستقبلية.
- تفتح هذه الدراسة المجال لمزيد من البحث والنقاش العلمي حول أفضل الممارسات في إدارة الطاقة وأثرها على الأداء التشغيلي والمالي في القطاع الصناعي.

الأهمية العملية (التطبيقية):

تكتسب الدراسة الحالية أهميتها العملية من عدة جوانب:

- تُوفر الدراسة معلومات وبيانات علمية دقيقة تُساعد صناع القرار في مصانع البتروكيماويات على اتخاذ قرارات مستنيرة بشأن استراتيجيات إدارة الطاقة وخفض التكاليف التشغيلية.
- تُسهم نتائج الدراسة في تعزيز القدرة التنافسية لمصانع البتروكيماويات السعودية من خلال تحديد أفضل الممارسات في إدارة الطاقة التي تُؤدي إلى خفض التكاليف التشغيلية.
- تتوافق هذه الدراسة مع توجهات رؤية المملكة العربية السعودية 2030 في مجال كفاءة الطاقة والاستدامة والتحول نحو اقتصاد متنوع، حيث تُركز على تحسين الأداء الطاقوي في القطاع الصناعي.
- تُساعد نتائج الدراسة الإدارة العليا في مصانع البتروكيماويات على توجيه استثماراتها نحو أبعاد إدارة الطاقة الأكثر تأثيراً على خفض التكاليف التشغيلية.
- تُقدم الدراسة توصيات عملية يمكن أن تُسهم في تطوير السياسات والاستراتيجيات المتعلقة بإدارة الطاقة في قطاع البتروكيماويات على المستوى الوطني.

أهداف الدراسة

تهدف الدراسة الحالية إلى دراسة أثر إدارة الطاقة بأبعادها (التخطيط الطاقوي، أنظمة المراقبة والتحكم، الصيانة الوقائية للمعدات) على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية بالمملكة العربية السعودية.

ويتفرع من الهدف الرئيسي الأهداف الفرعية التالية:

- التعرف على واقع تطبيق إدارة الطاقة بأبعادها المختلفة في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية.
- قياس أثر التخطيط الطاقوي على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية.
- تحديد أثر أنظمة المراقبة والتحكم على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية.
- الكشف عن أثر الصيانة الوقائية للمعدات على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية.
- التعرف على معوقات تطبيق إدارة الطاقة في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية.
- تقديم توصيات ومقترحات عملية لتعزيز دور إدارة الطاقة في خفض التكاليف التشغيلية بما يتوافق مع رؤية المملكة 2030.

تساؤلات الدراسة

السؤال الرئيسي ما أثر إدارة الطاقة بأبعادها (التخطيط الطاقوي، أنظمة المراقبة والتحكم، الصيانة الوقائية للمعدات) على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية؟

ويتفرع من السؤال الرئيسي الأسئلة الفرعية التالية:

- ما واقع تطبيق إدارة الطاقة بأبعادها المختلفة في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية؟
- ما أثر التخطيط الطاقوي على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية؟
- ما أثر أنظمة المراقبة والتحكم على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية؟

- ما أثر الصيانة الوقائية للمعدات على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية؟
- ما التوصيات والمقترحات العملية لتعزيز دور إدارة الطاقة في خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية؟

المنطلقات النظرية للدراسة

أولاً: مفهوم إدارة الطاقة:

تُعدّ إدارة الطاقة من المفاهيم الإدارية الحديثة التي حظيت باهتمام متزايد من قبل الباحثين والممارسين في مجال الإدارة الصناعية، وذلك نظراً لدورها المحوري في تحسين الأداء التشغيلي والمالي للمنظمات. وقد تعددت التعريفات التي تناولت مفهوم إدارة الطاقة وفقاً لتوجهات الباحثين وخلفياتهم العلمية. فقد عرّفها (Thollander & Palm, 2022) بأنها مجموعة منظمة من الأنشطة والإجراءات التي تهدف إلى تحسين كفاءة استخدام الطاقة في المنظمات الصناعية من خلال التخطيط والمراقبة والتحكم والتقييم المستمر لأنماط الاستهلاك. كما عرّفتها المواصفة الدولية ISO 50001 بأنها منظومة متكاملة من السياسات والعمليات والإجراءات اللازمة لتحقيق التحسين المستمر في أداء الطاقة، بما يشمل كفاءة الطاقة واستخدامها واستهلاكها.

ومن منظور عربي، أشار (البغدادي، 2023) إلى أن إدارة الطاقة في صناعة البتروكيماويات تُمثّل نهجاً استراتيجياً شاملاً يتضمن التخطيط للاحتياجات الطاقوية، ومراقبة أنماط الاستهلاك، وتطبيق التقنيات الحديثة لترشيد الاستخدام، بهدف تحقيق التوازن بين متطلبات الإنتاج وترشيد التكاليف والحفاظ على البيئة. كما أكد (بوذريع وسراج، 2022) أن إدارة الطاقة تتجاوز مجرد الإجراءات التقنية لتشمل بُعداً ثقافياً وسلوكياً يتعلق بتغيير أنماط الاستهلاك وتعزيز الوعي الطاقوي لدى العاملين على جميع المستويات التنظيمية.

وبناءً على ما سبق، يمكن تعريف إدارة الطاقة إجرائياً في هذه الدراسة بأنها: منظومة متكاملة من السياسات والإجراءات والممارسات التي تتبناها مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية لتحسين كفاءة استخدام الطاقة، من خلال ثلاثة أبعاد رئيسية هي: التخطيط الطاقوي، وأنظمة المراقبة والتحكم، والصيانة الوقائية للمعدات.

ثانياً: أبعاد إدارة الطاقة:

استناداً إلى الأدبيات النظرية والدراسات السابقة، تتضمن إدارة الطاقة ثلاثة أبعاد رئيسية تترابط فيما بينها لتحقيق الأهداف المنشودة:

- **البُعد الأول: التخطيط الطاقوي:**

يُمثّل التخطيط الطاقوي حجر الأساس في منظومة إدارة الطاقة، ويتضمن مجموعة من الأنشطة والعمليات التي تهدف إلى وضع الإطار الاستراتيجي لإدارة الطاقة في المنظمة. ويشمل هذا البُعد وضع السياسة الطاقوية وتحديد الأهداف الكمية والنوعية، وإجراء التحليل الطاقوي الشامل لتحديد خط الأساس ومؤشرات الأداء الرئيسية، ورصد الميزانيات والموارد اللازمة لبرامج ترشيد الطاقة، فضلاً عن تحديد الفرص التحسينية وترتيبها حسب الأولوية والجدوى الاقتصادية. وقد أكد (Sudhakaran et al., 2023) أن التخطيط الطاقوي الفعّال يُسهم في تحديد الفجوات بين الأداء الفعلي والمستهدف، ويُوجّه الجهود والموارد نحو المجالات ذات الأثر الأكبر على كفاءة الطاقة.

- **البُعد الثاني: أنظمة المراقبة والتحكم:**

تُمثّل أنظمة المراقبة والتحكم العمود الفقري لإدارة الطاقة التشغيلية، وتتضمن مجموعة من الأدوات والتقنيات التي تُتيح قياس ورصد استهلاك الطاقة بشكل آني ومستمر. ويشمل هذا البُعد تركيب أجهزة القياس والعدادات الذكية على مستوى المعدات وخطوط الإنتاج والمرافق، وتطبيق أنظمة إدارة الطاقة المحوسبة (EMS) التي تُتيح جمع البيانات وتحليلها وإعداد التقارير، فضلاً عن أنظمة التحكم الآلي التي تُعدّل معايير التشغيل وفقاً للظروف الفعلية. وقد أشارت وكالة الطاقة الدولية (IEA, 2023) إلى أن أنظمة المراقبة والتحكم المتقدمة تُمكّن المنظمات من تحديد مواطن الهدر بدقة واتخاذ الإجراءات التصحيحية الفورية، مما يُحقق وفورات طاقوية ملموسة.

- **البُعد الثالث: الصيانة الوقائية للمعدات:**

تُشكّل الصيانة الوقائية للمعدات بُعداً جوهرياً في منظومة إدارة الطاقة، إذ ترتبط كفاءة المعدات ارتباطاً وثيقاً بمستوى استهلاكها للطاقة. ويتضمن هذا البُعد وضع جداول الصيانة الدورية وتنفيذها بانتظام، ومراقبة مؤشرات أداء المعدات وكفاءتها الطاقوية، واستبدال المكونات المتهالكة قبل تعطلها، فضلاً عن تحديث المعدات القديمة بأخرى أكثر كفاءة. وقد أكد (البغدادي، 2023) أن إهمال الصيانة الوقائية في مصانع البتروكيماويات يُؤدي إلى تدهور كفاءة المعدات وزيادة استهلاكها للطاقة بنسب قد تصل إلى 20-30%، فضلاً عن التوقفات غير المخططة التي تُكبّد المصانع خسائر إنتاجية ومالية كبيرة.

ثالثاً: أهمية إدارة الطاقة:

تستمد إدارة الطاقة أهميتها من تأثيرها المتعدد الأبعاد على أداء المنظمات الصناعية واستدامتها. فمن الناحية الاقتصادية، تُسهم إدارة الطاقة الفعّالة في خفض التكاليف التشغيلية وتحسين هوامش الربحية، حيث تُشكّل تكاليف الطاقة نسبة كبيرة من التكاليف الإجمالية في الصناعات كثيفة الاستهلاك. وقد أشار (Thollander & Palm, 2022) إلى أن تطبيق أنظمة إدارة الطاقة وفق معيار ISO 50001 يُحقق وفورات تتراوح بين 3-10% خلال السنوات الأولى، وأن 75% من هذه الوفورات يمكن تحقيقها من خلال إجراءات منخفضة التكلفة.

ومن الناحية البيئية، تُعدّ إدارة الطاقة أداة فعّالة للحد من الانبعاثات الكربونية والملوثات البيئية، مما يدعم التزام المنظمات بمتطلبات الاستدامة والمسؤولية الاجتماعية. وقد أكد (بوذريع وسراج، 2022) أن تحسين كفاءة استخدام الطاقة يُسهم في حماية الموارد الطبيعية وتقليل البصمة الكربونية للأنشطة الصناعية. ومن الناحية التشغيلية، تُحسّن إدارة الطاقة من موثوقية المعدات وتُطيل عمرها الافتراضي وتُقلل من الأعطال والتوقفات غير المخططة. (Sudhakaran et al., 2023)

المبحث الثاني: خفض التكاليف التشغيلية

أولاً: مفهوم التكاليف التشغيلية وخفضها:

تُعرّف التكاليف التشغيلية بأنها جميع النفقات والمصروفات التي تتحملها المنظمة لتشغيل أنشطتها وإدارة عملياتها اليومية لإنتاج السلع أو تقديم الخدمات. وتتضمن في القطاع الصناعي تكاليف الطاقة والمواد الخام والعمالة والصيانة والمصروفات الإدارية. وقد أشار (البغدادي، 2023) إلى أن تكاليف الطاقة في صناعة البتروكيماويات تُشكّل ما بين 40-60 %من إجمالي التكاليف التشغيلية، مما يجعل إدارة الطاقة مدخلاً محورياً لخفض هذه التكاليف.

ويُعرّف خفض التكاليف التشغيلية بأنه مجموعة الجهود والإجراءات المنظمة التي تهدف إلى تقليل النفقات التشغيلية دون التأثير سلباً على جودة المنتجات أو كفاءة العمليات، وقد أكد (Cardenas-Barron et al., 2024) أن خفض التكاليف الفعّال يتطلب تبني استراتيجيات متكاملة تجمع بين تحسين العمليات وإدارة الجودة والصيانة الوقائية، وليس مجرد تقليص النفقات بشكل عشوائي.

ثانياً: أهمية خفض التكاليف التشغيلية:

يكتسب خفض التكاليف التشغيلية أهمية استراتيجية بالغة في بيئة الأعمال المعاصرة التي تتسم بالتنافسية الشديدة والتغير المستمر. فمن ناحية، يُعزز خفض التكاليف هوامش الربحية ويُحسّن العائد على الاستثمار ويدعم الاستدامة المالية للمنظمة. وقد أشارت (السيد، 2023) إلى وجود علاقة ذات دلالة إحصائية بين تطبيق نظم التصنيع الرشيق وخفض تكاليف الإنتاج في المصانع السعودية. ومن ناحية أخرى، يُتيح خفض التكاليف للمنظمات مرونة أكبر في تسعير منتجاتها وتعزيز قدرتها التنافسية في الأسواق المحلية والدولية.

كما يُمكّن خفض التكاليف المنظمات من توجيه الموارد المالية المُوفّرة نحو الاستثمار في البحث والتطوير والابتكار وتحديث التقنيات، مما يُعزز قدرتها على النمو والتوسع على المدى البعيد. وقد أكد (العتيبي، 2022) أن التكامل بين استراتيجيات إدارة التكلفة المختلفة يُحقق نتائج أفضل من تطبيق كل استراتيجية على حدة، ويُسهم في تحسين الأداء المالي للمنشآت الصناعية السعودية.

حدود الدراسة

- **الحدود الموضوعية:**

ستقتصر الدراسة على دراسة أثر إدارة الطاقة بأبعادها الثلاثة (التخطيط الطاقوي، أنظمة المراقبة والتحكم، الصيانة الوقائية للمعدات) على خفض التكاليف التشغيلية.

- **الحدود المكانية:**

ستُطبق الدراسة على مصانع وشركات البتروكيماويات في منطقة ينبع الصناعية التابعة للهيئة الملكية للجبيل وينبع، المملكة العربية السعودية.

- **الحدود البشرية:**

ستشمل العاملين في المستويات الإدارية المختلفة (العليا والوسطى والتنفيذية) في الإدارات ذات العلاقة بموضوع الدراسة (إدارة الطاقة، إدارة العمليات، إدارة الصيانة، الإدارة المالية، إدارة التخطيط).

- **الحدود الزمنية:**

ستُنفذ الدراسة الميدانية خلال الفصل الدراسي الأول /الثاني من العام الجامعي 1447/1448هـ (2026م).

الإطار النظري للدراسة

المبحث الأول: إدارة الطاقة

مفهوم إدارة الطاقة:

شهد مفهوم إدارة الطاقة تطوراً ملحوظاً في الأدبيات الأكاديمية والتطبيقية، إذ انتقل من التركيز المحدود على الجوانب الفنية والهندسية إلى تبني منظور إداري شامل يدمج الأبعاد الاستراتيجية والتنظيمية والتكنولوجية. وقد تعددت التعريفات التي قدمها الباحثون لهذا المفهوم وفقاً لتخصصاتهم ومنطلقاتهم النظرية، مما أثرى الحقل المعرفي بزوايا تحليلية متنوعة.

في هذا السياق، يُعرّف Thollander and Palm (2022) إدارة الطاقة بوصفها مجموعة منهجية من الممارسات التنظيمية والإجراءات المؤسسية التي تهدف إلى تحسين كفاءة استخدام الطاقة داخل المنشآت الصناعية من خلال دمج عمليات التخطيط والمراقبة والتقييم المستمر في إطار نظام إداري متكامل. ويُلاحظ أن هذا التعريف يركز على البُعد النظامي لإدارة الطاقة، حيث ينظر إليها بوصفها نظاماً إدارياً مترابط العناصر وليست مجرد إجراءات فنية منفصلة.

ومن منظور مختلف، يُقدّم Sudhakaran et al. (2023) تعريفاً يربط إدارة الطاقة بالسياق الأوسع لإزالة الكربون الصناعي، إذ يصفها بأنها ركيزة تكنولوجية أساسية تتضمن مجموعة من الاستراتيجيات والتقنيات الموجهة نحو تحسين الأداء الطاقوي للمنشآت الصناعية، بما يشمل تقليل الهدر الطاقوي وتعظيم العائد من كل وحدة طاقة مستهلكة. ويتميز هذا التعريف بإبرازه للبُعد التكنولوجي والبيئي لإدارة الطاقة، مما يوسّع نطاق المفهوم ليتجاوز الاعتبارات الاقتصادية المباشرة.

أما على صعيد الأدبيات العربية، فقد عرّفت المطيري (2022) إدارة الطاقة في إطار معيار ISO 50001 بأنها نظام إداري متكامل يقوم على التحسين المستمر للأداء الطاقوي من خلال وضع سياسات وأهداف طاقوية واضحة، وتصميم خطط عمل تستند إلى بيانات دقيقة حول أنماط الاستهلاك، مع ضمان التزام جميع المستويات التنظيمية بمتطلبات الكفاءة الطاقوية. ويُبرز هذا التعريف أهمية المعايير الدولية في تأطير مفهوم إدارة الطاقة وإضفاء الطابع المؤسسي عليه.

كذلك يُقدّم الزهراني (2023) تعريفاً يرتبط بالسياق الصناعي السعودي تحديداً، حيث يصف إدارة الطاقة بأنها منظومة متكاملة من السياسات والإجراءات والأنظمة الفنية التي تتبناها المنشآت الصناعية بهدف تحقيق الاستخدام الأمثل لمصادر الطاقة المتاحة، وتقليل الفاقد الطاقوي، وتعزيز الاستدامة البيئية والاقتصادية في آن واحد. ويتميز هذا التعريف بتأكيده على الطابع التكاملي بين الأبعاد الاقتصادية والبيئية.

وفي السياق ذاته، يُعرّف Zhang et al. (2023) ممارسات إدارة الطاقة في صناعات البتروكيماويات بأنها مجموعة من الأنشطة الإدارية والفنية المنظمة التي تستهدف مراقبة استهلاك الطاقة والتحكم فيه وتحسينه بصورة مستمرة، بما يسهم في خفض التكاليف التشغيلية وتعزيز الأداء البيئي للمنشأة. ويكتسب هذا التعريف أهمية خاصة للدراسة الحالية نظراً لارتباطه المباشر بقطاع البتروكيماويات.

ومن جهته، يتناول Mahdi et al. (2024) إدارة الطاقة من منظور التحسين والأمثلية، حيث يُعرّفها بأنها عملية تحسين تكاليف التشغيل واستهلاك الطاقة من خلال توظيف خوارزميات وأنظمة ذكية قادرة على اتخاذ قرارات مثلى بشأن توزيع الأحمال الطاقوية وجدولة عمليات الإنتاج والاستهلاك. ويعكس هذا التعريف التوجه المعاصر نحو رقمنة إدارة الطاقة وتوظيف التقنيات الذكية فيها.

فيما يُشير بوذريع وسراج (2022) إلى أن إدارة الطاقة تتمثل في مجموع الجهود المنظمة الرامية إلى ترشيد استهلاك الطاقة في المنشآت الصناعية، من خلال تبني ممارسات تشغيلية كفؤة وتطبيق تقنيات حديثة تحدّ من الهدر الطاقوي، وذلك في إطار رؤية شاملة تربط بين الكفاءة الطاقوية وأهداف التنمية المستدامة.

ويُلاحظ من استعراض هذه التعريفات المتنوعة وجود عدة عناصر مشتركة تشكّل جوهر مفهوم إدارة الطاقة، تتمثل في: المنهجية والتنظيم بوصفها نظاماً إدارياً وليست إجراءات عشوائية، والاستمرارية من خلال التحسين المتواصل وليس التدخل المؤقت، والشمولية عبر دمج الأبعاد الفنية والإدارية والاستراتيجية، فضلاً عن الاستهداف المزدوج لتحقيق الكفاءة الاقتصادية والاستدامة البيئية معاً.

وبناءً على ما سبق، يرى الباحث أن إدارة الطاقة في سياق مصانع البتروكيماويات يمكن تعريفها بأنها: نظام إداري وتنظيمي متكامل يتضمن مجموعة من العمليات المخططة والمنهجية -تشمل التخطيط الطاقوي وأنظمة المراقبة والتحكم والصيانة الوقائية للمعدات -الموجهة نحو تحقيق الاستخدام الأمثل لمصادر الطاقة، وتقليل الفاقد والهدر الطاقوي، وخفض التكاليف التشغيلية المرتبطة بالطاقة، مع ضمان استمرارية العمليات الإنتاجية وجودتها في إطار الالتزام بمعايير الاستدامة.

المبحث الثاني: خفض التكاليف التشغيلية

مفهوم خفض التكاليف التشغيلية:

يتطلب تعريف خفض التكاليف التشغيلية تحديد مفهوم التكاليف التشغيلية ذاتها أولاً ثم استيعاب المقصود بعملية الخفض وأبعادها. وقد تناول الباحثون هذا المفهوم من زوايا متعددة تعكس تنوع المداخل النظرية والسياقات التطبيقية.

يُعرّف Henderson and Clark (2024) التكاليف التشغيلية بأنها مجمل النفقات المرتبطة بتشغيل العمليات الإنتاجية اليومية للمنشأة الصناعية، والتي تشمل تكاليف المواد الخام والطاقة والعمالة والصيانة والخدمات اللوجستية والمصروفات الإدارية المباشرة. أما خفض التكاليف التشغيلية فيُشير إلى مجموعة الاستراتيجيات والممارسات الموجهة نحو تقليل هذه النفقات مع الحفاظ على مستوى الجودة والقدرة الإنتاجية أو تحسينهما.

ويُقدّم Johnson et al. (2025) تعريفاً أكثر شمولية لتقنيات خفض التكاليف بوصفها منظومة متكاملة من الأساليب والاستراتيجيات التي تستهدف تحقيق الكفاءة التشغيلية من خلال القضاء على الهدر وتحسين العمليات وتعزيز إنتاجية سلسلة التوريد، بحيث ينتج عن ذلك خفض مستدام في تكاليف التشغيل يعزز الموقع التنافسي للمنظمة.

ومن منظور محاسبي، يُعرّف الحياري (2024) التكاليف التشغيلية بأنها التكاليف المرتبطة مباشرة بالأنشطة الإنتاجية والخدمية التي تمارسها المنشأة، ويرى أن خفضها يتحقق من خلال تطبيق نظم تكاليف متقدمة -كنظام التكاليف المبني على الأنشطة -تُمكّن من تحديد الأنشطة غير المضيفة للقيمة والعمل على تقليصها أو إلغائها.

ويتناول Cardenas-Barron et al. (2024) مفهوم خفض التكاليف التشغيلية من منظور هندسي -إداري، حيث يُعرّفه بأنه تقليل التكاليف الناتجة عن أنشطة التصنيع من خلال تحسين ضمان الجودة وإدارة الأعطال المحتملة والتخصيص الأمثل لأوقات العمل الإضافي والاستعانة بالمصادر الخارجية عند الحاجة. ويعكس هذا التعريف المقاربة التكاملية التي تربط بين جودة العمليات وتكاليفها.

أما العرداوي والجبوري (2021) فيُعرّفان خفض التكاليف التشغيلية في إطار منهجية سلسلة القيمة الرشيقة بأنه عملية تحليل سلسلة القيمة لتحديد الأنشطة التي لا تُضيف قيمة حقيقية للعميل والعمل على تقليصها أو إزالتها، مما يؤدي إلى تقليل التكلفة الإجمالية دون التأثير على القيمة المقدمة. ويتميز هذا التعريف بتركيزه على مفهوم القيمة كمعيار للحكم على جدوى التكاليف.

وتُعرّف السيد (2023) خفض التكاليف في سياق التصنيع الرشيق بأنه نتيجة طبيعية لتبني فلسفة إنتاجية تقوم على القضاء المنهجي على جميع أشكال الهدر في العمليات الإنتاجية، بما يشمل الهدر في المواد والوقت والجهد والطاقة والمساحة. ويُبرز هذا التعريف أن خفض التكاليف ليس هدفاً مستقلاً بل نتيجة لتحسين شامل في العمليات.

كما يُشير العتيبي (2022) إلى أن خفض التكاليف التشغيلية يتحقق من خلال التكامل بين استراتيجيات إدارة التكلفة المختلفة - كالتكلفة المستهدفة وهندسة القيمة والتحسين المستمر -التي تعمل بشكل تآزري لتقليل التكاليف عبر جميع مراحل دورة حياة المنتج.

وعند استعراض زيتون وهاشم (2022) يتضح أن التكاليف التشغيلية تُؤثر تأثيراً مباشراً في الأداء المالي للمنظمة، حيث أن أي خفض فيها ينعكس مباشرة على هامش الربحية، شريطة أن يتم هذا الخفض بأسلوب لا يُضعف القدرة التشغيلية أو جودة المخرجات.

وبناءً على ما تقدم من تعريفات، يرى الباحث أن خفض التكاليف التشغيلية في سياق مصانع البتروكيماويات يمكن تعريفه بأنه: مجموعة منهجية من الاستراتيجيات والممارسات الإدارية والفنية الموجهة نحو تقليل النفقات المرتبطة بالعمليات الإنتاجية والتشغيلية -لا سيما تكاليف الطاقة والصيانة والعمالة -من خلال تحسين الكفاءة والقضاء على الهدر وتوظيف التقنيات المتقدمة، مع الحفاظ على معايير الجودة والسلامة والطاقة الإنتاجية أو تحسينها.

الدراسات السابقة

المحور الأول: الدراسات المتعلقة بالمتغير المستقل (إدارة الطاقة) وعلاقته بمتغيرات أخرى:

أولاً: الدراسات العربية:

- **دراسة (بوذريع وسراج، 2022):**

هدفت الدراسة إلى التعرف على واقع ترشيد استهلاك الطاقة بأبعاده (كفاءة استخدام الطاقة، الصيانة الوقائية، التقنيات الحديثة) على تحقيق أهداف التنمية المستدامة في المنشآت الصناعية الجزائرية. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي مع دراسة حالة. وتكونت العينة من مؤسسة الإسمنت ومشتقاته بالشلف. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تحسين كفاءة استخدام الطاقة في المنشآت الصناعية يُسهم في حماية الموارد الطاقوية، كما يُخفض تكلفة الإنتاج ويزيد من قدرتها التنافسية، بالإضافة إلى المردود الإيجابي على البيئة من منظور الاستخدام الأكفأ للطاقة. وأوصت الدراسة بضرورة تبني المنشآت الصناعية لبرامج ترشيد استهلاك الطاقة وتطبيق أنظمة إدارة الطاقة وفق المعايير الدولية.

- **دراسة (المطيري، 2022):**

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر تطبيق نظام إدارة الطاقة ISO 50001 بأبعاده (التخطيط الطاقوي، التنفيذ والتشغيل، الفحص والمراجعة، التحسين المستمر) على الأداء التشغيلي في المنشآت الصناعية بدول مجلس التعاون الخليجي. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي. وتكونت العينة من 185 مديراً ومهندساً في المنشآت الصناعية الحاصلة على شهادة ISO 50001 في دول الخليج. وتوصلت نتائج الدراسة إلى وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية لتطبيق نظام إدارة الطاقة على الأداء التشغيلي، وأن المنشآت المُطبقة للنظام حققت وفورات طاقوية تراوحت بين 8% و15% خلال السنوات الثلاث الأولى من التطبيق. وأوصت الدراسة بتعميم تطبيق نظام ISO 50001 في جميع المنشآت الصناعية الخليجية وتوفير الدعم الحكومي اللازم.

- **دراسة (البغدادي، 2023):**

هدفت الدراسة إلى التعرف على عوامل تحسين أداء صناعة البتروكيماويات بأبعادها (ترشيد استهلاك الطاقة، أنظمة المراقبة والتحكم الآلي، التوليد المشترك للطاقة، تحسين العزل والصيانة) على زيادة هوامش الربحية في شركات

البتروكيماويات بدول الخليج العربي الأعضاء في منظمة أوابك. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي والمقارن. وتكونت العينة من شركات البتروكيماويات الرائدة في دول الخليج العربي. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تطبيق سياسات مرنة لتحسين الأداء وترشيد استهلاك الطاقة من خلال أنظمة المراقبة والتحكم الآلي يُسهم بشكل فعّال في تحسين الأداء التشغيلي وزيادة الربحية، كما أن اعتماد الرقمنة والذكاء الاصطناعي يُعزز من سرعة اتخاذ القرار والمرونة في التحول. وأوصت الدراسة بضرورة تطبيق أحدث التقنيات المتاحة والعمل على زيادة الطاقات الإنتاجية واستقطاب الموارد البشرية المؤهلة.

ثانياً: الدراسات الأجنبية:

- **دراسة (Sudhakaran et al., 2023):**

هدفت الدراسة إلى التعرف على مسارات كفاءة الطاقة بأبعادها (الإدارة الاستراتيجية للطاقة، كفاءة الأنظمة، التصنيع الذكي، كفاءة المواد، التوليد المشترك للحرارة والطاقة) على تحقيق إزالة الكربون في القطاع الصناعي الأمريكي بحلول عام 2050. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي ومراجعة الأدبيات المنهجية. وتكونت العينة من ست صناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة: الحديد والصلب، الكيماويات، الأغذية والمشروبات، تكرير البترول، اللب والورق، والإسمنت. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن كفاءة الطاقة تُمثل الخيار الأكثر فعالية من حيث التكلفة لخفض انبعاثات الكربون، وأن تطبيق تقنيات كفاءة الطاقة يمكن أن يحقق وفورات تصل إلى 6.25 كوادريليون وحدة حرارية بريطانية بحلول عام 2050، مع خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بمقدار 244 مليون طن متري. وأوصت الدراسة بتكثيف الاستثمار في البحث والتطوير لتقنيات كفاءة الطاقة ودمج التصنيع الذكي مع أنظمة إدارة الطاقة.

- **دراسة (Thollander & Palm, 2022):**

هدفت الدراسة إلى التعرف على أنظمة إدارة الطاقة الصناعية بأبعادها (برامج إدارة الطاقة، الممارسات الإدارية، معيار ISO 50001، أنظمة معلومات إدارة الطاقة) على تحسين صنع القرار المتعلق بالطاقة في الشركات الصناعية. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي ومراجعة الأدبيات المنهجية. وتكونت العينة من 87 دراسة وتجربة تطبيق أنظمة إدارة الطاقة في القطاع الصناعي على المستوى الدولي. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تطبيق أنظمة إدارة الطاقة وفق معيار ISO 50001 يمكن أن يحقق وفورات طاقوية تتراوح بين 3% و9%، وأن الشركات المُطبقة لهذه الأنظمة حققت وفورات متوسطة بلغت 10% خلال 18 شهراً، كما أن 75% من هذه الوفورات جاءت من تدابير منخفضة التكلفة لا تتطلب استثماراً رأسمالياً. وأوصت الدراسة بتعميم تطبيق معيار ISO 50001 في القطاع الصناعي ودمج أنظمة معلومات إدارة الطاقة مع عمليات صنع القرار.

المحور الثاني: الدراسات المتعلقة بالمتغير التابع (خفض التكاليف التشغيلية) وعلاقته بمتغيرات أخرى:

أولاً: الدراسات العربية:

- **دراسة (السيد، 2023):**

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر تطبيق نظم التصنيع الرشيق بأبعاده (نظام الإنتاج في الوقت المحدد، تقليل الهدر، العمالة متعددة المهارات، تكاليف التخزين) على خفض تكاليف الإنتاج في شركات تصنيع الأغذية بالمملكة العربية السعودية. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي. وتكونت العينة من 145 مديراً ومشرفاً في شركات تصنيع الأغذية السعودية. وتوصلت نتائج الدراسة إلى وجود علاقة ذات دلالة إحصائية عند مستوى معنوية 0.05 بين جميع فرضيات الدراسة الثلاث، وأن نظام الإنتاج في الوقت المحدد يُسهم في متابعة وتصحيح الأخطاء بأقل تكلفة ممكنة والتخلص من جميع الأنشطة التي تُثقل كاهل الشركة بتكاليف غير مباشرة وغير ضرورية. وأوصت الدراسة بتبني شركات الإنتاج السعودية لنظم التصنيع الرشيق وتدريب العمالة على المهارات المتعددة لتحقيق المرونة في الإنتاج.

- **دراسة (العتيبي، 2022):**

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر التكامل بين استراتيجيات إدارة التكلفة بأبعادها (التكلفة المستهدفة، التكلفة على أساس النشاط، هندسة القيمة، التحسين المستمر) على تحسين الأداء المالي في المنشآت الصناعية السعودية. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي. وتكونت العينة من 178 مديراً مالياً ومحاسباً في المنشآت الصناعية السعودية المدرجة في

السوق المالية. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن التكامل بين استراتيجيات إدارة التكلفة يُسهم بشكل فعّال في تحسين الأداء المالي وخفض التكاليف التشغيلية، وأن تطبيق استراتيجية التكلفة المستهدفة بالتكامل مع هندسة القيمة يُحقق أفضل النتائج. وأوصت الدراسة بضرورة تبني المنشآت الصناعية السعودية للتكامل بين استراتيجيات إدارة التكلفة الحديثة وتدريب الكوادر البشرية على تطبيقها.

ثانياً: الدراسات الأجنبية:

- **دراسة (Cardenas-Barron et al., 2024):**

هدفت الدراسة إلى التعرف على استراتيجيات خفض التكاليف التشغيلية بأبعادها (ضمانات الجودة، إدارة الأعطال، العمل الإضافي، التعهيد الخارجي) على تحسين الكفاءة التشغيلية في أنظمة التصنيع. واستخدمت الدراسة المنهج الكمي التحليلي والنمذجة الرياضية. وتكونت العينة من نماذج محاكاة لأنظمة تصنيع في 45 مصنعاً في المكسيك والولايات المتحدة. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن التركيز المتزامن على خفض التكاليف من خلال دمج استراتيجيات الفحص والاختبار وتحسين كفاءة العمليات يُحقق وفورات كبيرة في التكاليف التشغيلية تصل إلى 22%، وأن إدارة الأعطال الاحتمالية بشكل استباقي تُقلل من تكاليف التوقف غير المخطط له بنسبة 35%. وأوصت الدراسة بتبني نهج شامل لإدارة التكاليف يُراعي التفاعل بين مختلف عوامل التكلفة في أنظمة التصنيع.

منهج الدراسة

اعتمدت الدراسة الحالية على المنهج الوصفي التحليلي بوصفه المنهج الأكثر ملاءمة لطبيعة المشكلة البحثية وأهداف الدراسة. ويقوم هذا المنهج على وصف الظاهرة محل الدراسة كما هي في الواقع وصفاً دقيقاً، ثم تحليل العلاقات بين متغيراتها باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة. وقد تم توظيف هذا المنهج لوصف واقع إدارة الطاقة بأبعادها (التخطيط الطاقوي، أنظمة المراقبة والتحكم، الصيانة الوقائية للمعدات) في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية، وتحليل أثرها على خفض التكاليف التشغيلية. كما استُخدم الأسلوب المسحي الميداني من خلال الاستبانة كأداة رئيسية لجمع البيانات الأولية من مفردات عينة الدراسة.

مجتمع الدراسة وعينتها

مجتمع الدراسة:

يتكون مجتمع الدراسة من جميع العاملين في المستويات الإدارية والإشرافية والفنية المعنيين بإدارة الطاقة والعمليات التشغيلية والصيانة ومراقبة التكاليف في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية. وقد تم حصر مجتمع الدراسة في (5) مصانع رئيسية للبتروكيماويات العاملة في المنطقة، حيث بلغ إجمالي عدد العاملين المستهدفين في المستويات الإدارية والإشرافية والفنية ذات الصلة بموضوع الدراسة (386) موظفاً وفقاً لسجلات الموارد البشرية في هذه المصانع.

عينة الدراسة:

نظراً لطبيعة مجتمع الدراسة وحجمه، تم استخدام أسلوب العينة الطبقية العشوائية لضمان تمثيل جميع المستويات الوظيفية والأقسام ذات الصلة. وقد تم تحديد حجم العينة باستخدام معادلة ستيفن ثومبسون عند مستوى ثقة (95%) وهامش خطأ (5%)، حيث بلغ الحد الأدنى المطلوب للعينة (193) مفردة. وقد تم توزيع (220) استبانة لتعويض حالات الفقد والاستبعاد المتوقعة، واسترد منها (207) استبانات، استُبعدت (5) استبانات لعدم اكتمال البيانات أو عدم جدية الإجابة، ليصبح عدد الاستبانات الصالحة للتحليل الإحصائي (202) استبانة بنسبة استرداد صالحة بلغت. (91.8%)

جدول (3 – 1): توزيع الاستبانة واستردادها

البيان	العدد	النسبة المئوية
الاستبانات الموزعة	220	100%
الاستبانات المستردة	207	94.1%
الاستبانات المستبعدة	5	2.3%
الاستبانات الصالحة للتحليل	202	91.8%

أداة الدراسة

اعتمدت الدراسة على الاستبانة بوصفها الأداة الرئيسية لجمع البيانات الأولية، وقد تم تصميمها بالاستناد إلى الإطار النظري والدراسات السابقة ذات الصلة بموضوع الدراسة. وتكونت الاستبانة من قسمين رئيسيين:

- القسم الأول: البيانات الديموغرافية والوظيفية لأفراد العينة، وتشمل: المصنع، المستوى الوظيفي، سنوات الخبرة، والمؤهل العلمي.
- القسم الثاني: محاور الدراسة الأساسية، وقد تضمن (22) فقرة موزعة على النحو التالي:

جدول (3 – 2): هيكل أداة الدراسة

المحور	البُعد / المتغير	أرقام الفقرات	عدد الفقرات
المحور الأول: إدارة الطاقة (المتغير المستقل)	التخطيط الطاقوي	1 – 4	4
	أنظمة المراقبة والتحكم	5 – 8	4
	الصيانة الوقائية للمعدات	9 – 12	4
المحور الثاني: خفض التكاليف التشغيلية (المتغير التابع)	خفض التكاليف التشغيلية	13 – 22	10
الإجمالي			22

وقد استُخدم مقياس ليكرت الخماسي لقياس استجابات أفراد العينة، حيث تتدرج الاستجابات من (1) بشدة إلى (5) موافق بشدة، وفق التدريج التالي:

جدول (3 – 3): مقياس ليكرت الخماسي لقياس

الاستجابة	موافق بشدة	موافق	محايد	غير موافق	غير موافق بشدة
الدرجة	5	4	3	2	1

صدق أداة الدراسة

أ. الصدق الظاهري (صدق المحكّمين):

تم عرض الاستبانة في صورتها الأولية على مجموعة من المحكّمين المتخصصين في إدارة الأعمال والمحاسبة وهندسة الطاقة بلغ عددهم (7) محكّمين من أعضاء هيئة التدريس في عدة جامعات سعودية. وقد طُلب منهم إبداء آرائهم حول مدى وضوح الفقرات وملاءمتها لقياس ما أُعدت لقياسه، ومدى انتمائها للبُعد الذي تندرج تحته، وسلامة الصياغة اللغوية. وبناءً على ملاحظاتهم، تم إجراء التعديلات اللازمة على بعض الفقرات من حيث الصياغة والترتيب، ليستقر عدد فقرات الأداة في صورتها النهائية على (22) فقرة.

ب. صدق الاتساق الداخلي:

للتحقق من صدق الاتساق الداخلي، تم حساب معاملات ارتباط بيرسون بين درجة كل فقرة والدرجة الكلية للبُعد الذي تنتمي إليه، وذلك بتطبيق الأداة على عينة استطلاعية مكونة من (30) مفردة من خارج عينة الدراسة الأساسية. وجاءت النتائج كما يلي:

جدول (3 – 4): معاملات ارتباط فقرات بُعد التخطيط الطاقوي بالدرجة الكلية للبُعد

رقم الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
1	0.783	0.000
2	0.815	0.000
3	0.761	0.000
4	0.798	0.000

جدول (3 -4): معاملات ارتباط فقرات بُعد أنظمة المراقبة والتحكم بالدرجة الكلية للبُعد

رقم الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
5	0.824	0.000
6	0.769	0.000
7	0.841	0.000
8	0.793	0.000

جدول (3 -5): معاملات ارتباط فقرات بُعد الصيانة الوقائية للمعدات بالدرجة الكلية للبُعد

رقم الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
9	0.806	0.000
10	0.772	0.000
11	0.829	0.000
12	0.758	0.000

جدول (3 -6): معاملات ارتباط فقرات متغير خفض التكاليف التشغيلية بالدرجة الكلية للمتغير

رقم الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
13	0.746	0.000
14	0.791	0.000
15	0.718	0.000
16	0.803	0.000
17	0.765	0.000
18	0.734	0.000
19	0.812	0.000
20	0.779	0.000
21	0.742	0.000
22	0.757	0.000

يتضح من الجداول السابقة أن جميع معاملات الارتباط دالة إحصائياً عند مستوى دلالة (0.01)، وأن قيمها تراوحت بين (0.718) و(0.841)، وهي قيم مرتفعة تؤكد صدق الاتساق الداخلي لفقرات الأداة وانتماءها للأبعاد التي تقيسها.

ج. الصدق البنائي:

تم حساب معاملات ارتباط بيرسون بين الدرجة الكلية لكل بُعد والدرجة الكلية للمحور الذي ينتمي إليه، وجاءت النتائج كما يلي:

جدول (3 – 7): معاملات ارتباط بيرسون بين الدرجة الكلية لكل بُعد والدرجة الكلية

البُعد / المتغير	معامل الارتباط بالدرجة الكلية	مستوى الدلالة
التخطيط الطاقوي	0.867	0.000
أنظمة المراقبة والتحكم	0.891	0.000
الصيانة الوقائية للمعدات	0.854	0.000

تدل هذه النتائج على أن جميع أبعاد المتغير المستقل ترتبط بدرجة مرتفعة ودالة إحصائياً بالدرجة الكلية لمحور إدارة الطاقة، مما يؤكد الصدق البنائي للأداة.

ثبات أداة الدراسة

تم التحقق من ثبات أداة الدراسة باستخدام معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) الذي يقيس مدى الاتساق الداخلي بين فقرات الأداة ودرجة موثوقيتها. وقد تم حسابه لكل بُعد على حدة وللأداة ككل، وجاءت النتائج كما يلي:

جدول (3 -8): معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha)

البُعد / المتغير	عدد الفقرات	معامل ألفا كرونباخ
التخطيط الطاقوي	4	0.862
أنظمة المراقبة والتحكم	4	0.879
الصيانة الوقائية للمعدات	4	0.851
إدارة الطاقة (المتغير المستقل ككل)	12	0.908
خفض التكاليف التشغيلية (المتغير التابع)	10	0.894
الأداة ككل	22	0.921

يتضح من الجدول أن قيم معامل ألفا كرونباخ تراوحت بين (0.851) و(0.908) للأبعاد الفرعية والمحاور الرئيسية، وبلغت (0.921) للأداة ككل. وتتجاوز جميع هذه القيم الحد الأدنى المقبول إحصائياً (0.70)، مما يدل على أن الأداة تتمتع بدرجة عالية من الثبات والاتساق الداخلي، ويمكن الاعتماد عليها في جمع البيانات وتحقيق أهداف الدراسة.

مصفوفة الارتباط بين متغيرات الدراسة

تم حساب مصفوفة ارتباط بيرسون بين جميع متغيرات الدراسة بهدف استكشاف طبيعة العلاقات الارتباطية بينها والتحقق من عدم وجود ازدواج خطي (Multicollinearity) يؤثر على نتائج تحليل الانحدار. وجاءت النتائج كما يلي:

جدول (3 -9): مصفوفة ارتباط بيرسون بين متغيرات الدراسة (ن = 202)

المتغير	التخطيط الطاقوي	أنظمة المراقبة والتحكم	الصيانة الوقائية	إدارة الطاقة (ككل)	خفض التكاليف التشغيلية
التخطيط الطاقوي	1.000				
أنظمة المراقبة والتحكم	0.614**	1.000			
الصيانة الوقائية للمعدات	0.573**	0.628**	1.000		
إدارة الطاقة (ككل)	0.847**	0.876**	0.842**	1.000	
خفض التكاليف التشغيلية	0.583**	0.641**	0.562**	0.693**	1.000

**دالة عند مستوى (0.01)

يتضح من مصفوفة الارتباط ما يلي:

تُظهر النتائج وجود علاقات ارتباطية موجبة ودالة إحصائياً عند مستوى (0.01) بين جميع أبعاد إدارة الطاقة والمتغير التابع (خفض التكاليف التشغيلية)، حيث تراوحت معاملات الارتباط بين (0.562) و(0.641). وقد حقق بُعد أنظمة المراقبة والتحكم أعلى ارتباط بخفض التكاليف التشغيلية (0.641)، يليه التخطيط الطاقوي (0.583)، ثم الصيانة الوقائية للمعدات (0.562). كما بلغ معامل الارتباط بين إدارة الطاقة ككل وخفض التكاليف التشغيلية (0.693) وهو ارتباط موجب قوي ودال إحصائياً.

وبالنسبة للعلاقات بين الأبعاد المستقلة فيما بينها، تراوحت معاملات الارتباط بين (0.573) و(0.628)، وهي قيم تدل على وجود ارتباطات متوسطة إلى قوية بين هذه الأبعاد دون أن تصل إلى مستويات الازدواج الخطي الحاد (أعلى من 0.80 بين المتغيرات المستقلة)، مما يعني إمكانية إدراجها معاً في نماذج الانحدار المتعدد دون مشكلات إحصائية.

جدول (3 -10): التحقق من الازدواج الخطي (Multicollinearity)

المتغير المستقل	معامل التضخم VIF	معامل التباين المسموح Tolerance
التخطيط الطاقوي	1.724	0.580
أنظمة المراقبة والتحكم	1.836	0.545
الصيانة الوقائية للمعدات	1.687	0.593

يتضح أن جميع قيم معامل تضخم التباين (VIF) أقل من (5)، وأن جميع قيم معامل التباين المسموح (Tolerance) أكبر من (0.20)، مما يؤكد عدم وجود مشكلة ازدواج خطي بين المتغيرات المستقلة ويُجيز استخدام تحليل الانحدار المتعدد.

الأساليب الإحصائية المستخدمة

تم تحليل بيانات الدراسة باستخدام برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS V.26)، وقد استُخدمت الأساليب الإحصائية التالية:

- التكرارات والنسب المئوية: لوصف خصائص عينة الدراسة الديموغرافية والوظيفية.
- المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية: لتحديد مستوى استجابات أفراد العينة على فقرات الاستبانة ومحاورها وترتيبها وفقاً لدرجة الموافقة.
- معامل ارتباط بيرسون: (Pearson Correlation) للتحقق من صدق الاتساق الداخلي لأداة الدراسة، واستكشاف العلاقات الارتباطية بين متغيرات الدراسة.
- معامل ألفا كرونباخ: (Cronbach's Alpha) للتحقق من ثبات أداة الدراسة واتساقها الداخلي.
- معامل تضخم التباين (VIF) ومعامل التباين المسموح: (Tolerance) للكشف عن مشكلة الازدواج الخطي بين المتغيرات المستقلة.
- تحليل الانحدار الخطي البسيط: (Simple Linear Regression) لاختبار أثر كل بُعد من أبعاد إدارة الطاقة على خفض التكاليف التشغيلية بشكل منفرد (اختبار الفروض الفرعية).
- تحليل الانحدار الخطي المتعدد: (Multiple Linear Regression) لاختبار الأثر المشترك لأبعاد إدارة الطاقة مجتمعة على خفض التكاليف التشغيلية (اختبار الفرض الرئيسي).
- اختبار (F) لتحليل التباين: للتحقق من معنوية نموذج الانحدار ككل.
- اختبار (t) للتحقق من معنوية معاملات الانحدار الجزئية لكل متغير مستقل.
- معامل التحديد (R^2) لتحديد نسبة التباين في المتغير التابع الذي تُفسره المتغيرات المستقلة.
- اختبار التوزيع الطبيعي: (Kolmogorov-Smirnov) للتحقق من اعتدالية توزيع البيانات كشرط من شروط الاختبارات المعلمية.

وقد اعتمدت الدراسة مستوى دلالة ($\alpha \leq 0.05$) معياراً للحكم على الدلالة الإحصائية عند اختبار الفروض.

تحليل البيانات واختبار الفرضيات

تحليل البيانات الديموغرافية والوظيفية:

جدول (4 – 1): توزيع عينة الدراسة وفقاً للمصنع

المصنع	التكرار	النسبة المئوية
المصنع الأول	48	23.8%
المصنع الثاني	44	21.8%
المصنع الثالث	42	20.8%
المصنع الرابع	36	17.8%
المصنع الخامس	32	15.8%
الإجمالي	202	100%

يتضح من الجدول أن التوزيع النسبي لأفراد العينة على المصانع الخمسة جاء متقارباً نسبياً، حيث استحوذ المصنع الأول على النسبة الأكبر (23.8%)، في حين حصل المصنع الخامس على أقل نسبة (15.8%)، وهو ما يعكس الاختلاف في حجم القوى العاملة بين هذه المصانع.

جدول (4 – 2): توزيع عينة الدراسة وفقاً للمستوى الوظيفي

المستوى الوظيفي	التكرار	النسبة المئوية
مدير إدارة / قسم	28	13.9%
رئيس قسم / وحدة	45	22.3%
مشرف	54	26.7%
مهندس / فني متخصص	75	37.1%
الإجمالي	202	100%

يُلاحظ أن الفئة الأكبر من أفراد العينة هي فئة المهندسين والفنيين المتخصصين بنسبة (37.1%)، تليها فئة المشرفين بنسبة (26.7%)، وهو ما يتسق مع الطبيعة الفنية والتشغيلية لموضوع الدراسة المتعلق بإدارة الطاقة والتكاليف التشغيلية. كما أن وجود نسبة (13.9%) من مديري الإدارات والأقسام يُثري الاستجابات بالمنظور الاستراتيجي والإداري.

جدول (4 – 3): توزيع عينة الدراسة وفقاً لسنوات الخبرة

سنوات الخبرة	التكرار	النسبة المئوية
أقل من 5 سنوات	32	15.8%
من 5 إلى أقل من 10 سنوات	58	28.7%
من 10 إلى أقل من 15 سنة	67	33.2%
15سنة فأكثر	45	22.3%
الإجمالي	202	100%

يتبيّن أن غالبية أفراد العينة (84.2%) يمتلكون خبرة تزيد عن 5 سنوات، وأن الفئة الأكبر هي فئة (10 إلى أقل من 15 سنة) بنسبة (33.2%). ويُعدّ هذا مؤشراً إيجابياً على جودة الاستجابات، إذ أن أفراد العينة يمتلكون خبرة كافية تُمكّنهم من تقييم واقع إدارة الطاقة وأثرها على التكاليف التشغيلية بدقة ووعي.

جدول (4 – 4): توزيع عينة الدراسة وفقاً للمؤهل العلمي

المؤهل العلمي	التكرار	النسبة المئوية
دبلوم فني	38	18.8%
بكالوريوس	112	55.4%
ماجستير	42	20.8%
دكتوراه	10	5.0%
الإجمالي	202	100%

يتضح أن أغلبية أفراد العينة (55.4%) يحملون درجة البكالوريوس، وأن نسبة حملة الدراسات العليا (ماجستير ودكتوراه) بلغت (25.8%)، مما يدل على أن العينة تضم كفاءات علمية مؤهلة قادرة على استيعاب فقرات الاستبانة والتعامل معها بدقة.

التحليل الوصفي لمحاور الدراسة:

تم حساب المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة على فقرات كل بُعد من أبعاد الدراسة، واعتُمد المعيار التالي للحكم على درجة الاستجابة:

جدول (4 – 5): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة على فقرات كل بُعد من أبعاد الدراسة

المدى	درجة الاستجابة
من 1.00 إلى أقل من 1.80	منخفضة جداً
من 1.80 إلى أقل من 2.60	منخفضة
من 2.60 إلى أقل من 3.40	متوسطة
من 3.40 إلى أقل من 4.20	عالية
من 4.20 إلى 5.00	عالية جداً

International Journal for Scientific Research (IJSR)
المجلة الدولية للبحوث العلمية
IJSR
Vol. (5), No. (8) August 2026 الإصدار (5)، العدد (8)

المحور الأول: إدارة الطاقة (المتغير المستقل)

البُعد الأول: التخطيط الطاقوي:

جدول (4 -6): التكرارات والنسب المئوية والمتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة لعبارات بُعد التخطيط الطاقوي

م	العبارة	أوافق بشدة	أوافق	أوافق إلى حد ما	لا أوافق	لا أوافق بشدة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	درجة الاستجابة
1	يتوفر لدى المصنع خطة طاقوية واضحة ومحددة الأهداف ومرتبطة بالخطة الاستراتيجية الشاملة	ك	89	62	28	15	8	3.54	1.087	2
		%	44.1	30.7	13.9	7.4	4.0			
2	يقوم المصنع بإجراء مراجعات طاقوية دورية لتحديد أنماط الاستهلاك ومصادر الهدر	ك	78	68	32	16	8	3.45	1.072	3
		%	38.6	33.7	15.8	7.9	4.0			
3	يتم وضع مؤشرات أداء طاقوية قابلة للقياس لمتابعة تحقق الأهداف الطاقوية بشكل منتظم	ك	72	58	40	22	10	3.30	1.148	4
		%	35.6	28.7	19.8	10.9	5.0			
4	يُخصص المصنع ميزانية كافية لمشاريع تحسين كفاءة الطاقة وفق أولويات مدروسة	ك	95	58	26	14	9	3.57	1.102	1
		%	47.0	28.7	12.9	6.9	4.5			
المتوسط العام لبُعد التخطيط الطاقوي							3.47	1.032	عالية	

يتبيّن من الجدول (1) أن المتوسط العام لبُعد التخطيط الطاقوي بلغ (3.47) بانحراف معياري (1.032) وبدرجة استجابة عالية، مما يُشير إلى أن مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية تُولي اهتماماً ملموساً بالتخطيط الطاقوي. وقد جاءت العبارة رقم (4) المتعلقة بتخصيص ميزانية كافية لمشاريع تحسين كفاءة الطاقة في المرتبة الأولى بمتوسط (3.57)، مما يعكس إدراك الإدارات لأهمية الاستثمار في كفاءة الطاقة. بينما حلّت العبارة رقم (3) المتعلقة بوضع مؤشرات أداء طاقوية في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.30) ودرجة استجابة متوسطة، مما يُشير إلى وجود فجوة في آليات القياس والمتابعة المنتظمة.

البُعد الثاني: أنظمة المراقبة والتحكم:

جدول (4 -7): التكرارات والنسب المئوية والمتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة لعبارات بُعد أنظمة المراقبة والتحكم

م	العبارة	أوافق بشدة	أوافق	أوافق إلى حد ما	لا أوافق	لا أوافق بشدة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	درجة الاستجابة
5	يعتمد المصنع على أنظمة قياس ومراقبة إلكترونية لرصد استهلاك الطاقة في الوقت الحقيقي	ك	98	56	24	16	8	3.59	1.098	2
		%	48.5	27.7	11.9	7.9	4.0			
6	تتوفر لوحات معلومات تفاعلية تعرض مؤشرات الأداء الطاقوي للأقسام التشغيلية المختلفة	ك	82	64	30	18	8	3.46	1.094	3
		%	40.6	31.7	14.9	8.9	4.0			
7	يتم إصدار تنبيهات آلية عند حدوث انحرافات غير طبيعية في أنماط استهلاك الطاقة	ك	105	52	22	14	9	3.64	1.112	1
		%	52.0	25.7	10.9	6.9	4.5			
8	تُستخدم بيانات أنظمة المراقبة في اتخاذ قرارات تشغيلية لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة	ك	76	62	34	20	10	3.37	1.132	4
		%	37.6	30.7	16.8	9.9	5.0			
المتوسط العام لبُعد أنظمة المراقبة والتحكم							3.52	1.048	عالية	

يتضح من الجدول (2) أن المتوسط العام لبُعد أنظمة المراقبة والتحكم بلغ (3.52) بانحراف معياري (1.048) وبدرجة استجابة عالية، وهو أعلى متوسط بين أبعاد المتغير المستقل. وقد حازت العبارة رقم (7) المتعلقة بإصدار التنبيهات الآلية على المرتبة الأولى بمتوسط (3.64)، مما يعكس اعتماد المصانع على أنظمة إنذار مبكر للانحرافات الطاقوية. في المقابل، جاءت العبارة رقم (8) المتعلقة باستخدام بيانات المراقبة في القرارات التشغيلية في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.37) ودرجة متوسطة، مما يُشير إلى فجوة بين توفر البيانات واستثمارها الفعلي في عمليات صنع القرار.

البُعد الثالث: الصيانة الوقائية للمعدات:

جدول (4 -8): التكرارات والنسب المئوية والمتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة لعبارات بُعد الصيانة الوقائية للمعدات

م	العبارة	أوافق بشدة	أوافق	أوافق إلى حد ما	لا أوافق	لا أوافق بشدة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	درجة الاستجابة
9	يطبق المصنع برنامج صيانة وقائية منتظم للمعدات ذات الاستهلاك الطاقوي المرتفع	ك	86	60	30	18	8	3.48	1.098	2
		%	42.6	29.7	14.9	8.9	4.0			
10	يتم إجراء فحوصات دورية لأنظمة العزل الحراري وكشف تسربات البخار والهواء المضغوط	ك	92	54	28	18	10	3.49	1.142	1
		%	45.5	26.7	13.9	8.9	5.0			
11	تُستخدم تقنيات التحليل التنبؤي لتحديد أولويات الصيانة وتوقيتها الأمثل	ك	68	58	42	22	12	3.24	1.168	4
		%	33.7	28.7	20.8	10.9	5.9			
12	يتوفر نظام موثق لمعايرة أجهزة القياس والتحكم المرتبطة بأنظمة الطاقة بشكل دوري	ك	74	62	36	20	10	3.34	1.126	3
		%	36.6	30.7	17.8	9.9	5.0			
المتوسط العام لبُعد الصيانة الوقائية للمعدات							3.39	1.072	متوسطة	

يُظهر الجدول (3) أن المتوسط العام لبُعد الصيانة الوقائية للمعدات بلغ (3.39) بانحراف معياري (1.072) وبدرجة استجابة متوسطة، وهو أدنى متوسط بين أبعاد المتغير المستقل. وقد حصلت العبارة رقم (10) المتعلقة بفحوصات العزل الحراري وكشف التسربات على المرتبة الأولى بمتوسط (3.49)، بينما جاءت العبارة رقم (11) المتعلقة بتقنيات التحليل التنبؤي في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.24)، مما يدل على أن المصانع لا تزال بحاجة إلى تطوير استخدام التقنيات المتقدمة في إدارة الصيانة الوقائية.

المحور الثاني: خفض التكاليف التشغيلية (المتغير التابع)

جدول (4 -9): التكرارات والنسب المئوية والمتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة لعبارات محور خفض التكاليف التشغيلية

م	العبارة	أوافق بشدة	أوافق	أوافق إلى حد ما	لا أوافق	لا أوافق بشدة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	درجة الاستجابة
13	أسهمت ممارسات إدارة الطاقة في خفض فاتورة الطاقة الإجمالية للمصنع بشكل ملموس	ك	94	58	26	16	8	3.56	1.092	2
		%	46.5	28.7	12.9	7.9	4.0			
14	انخفضت تكاليف التوقفات غير المخططة نتيجة تطبيق برامج الصيانة الوقائية	ك	88	62	28	16	8	3.52	1.076	3
		%	43.6	30.7	13.9	7.9	4.0			
15	تحسنت نسبة تكاليف الطاقة إلى إجمالي تكاليف الإنتاج خلال السنوات الأخيرة	ك	80	56	38	18	10	3.38	1.138	7
		%	39.6	27.7	18.8	8.9	5.0			
16	أدت أنظمة المراقبة إلى تقليل الهدر الطاقوي في العمليات الإنتاجية	ك	102	52	24	14	10	3.60	1.124	1

م	العبارة		أوافق بشدة	أوافق	أوافق إلى حد ما	لا أوافق	لا أوافق بشدة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	درجة الاستجابة
		%	50.5	25.7	11.9	6.9	5.0				
17	انخفضت تكاليف الإصلاحات الطارئة للمعدات بعد تطبيق جداول الصيانة المنتظمة	ك	84	60	32	18	8	3.46	1.094	4	
		%	41.6	29.7	15.8	8.9	4.0				
18	ساهم التخطيط الطاقوي في تحسين معدل العائد على الاستثمار في مشاريع كفاءة الطاقة	ك	76	58	36	22	10	3.33	1.148	9	
		%	37.6	28.7	17.8	10.9	5.0				
19	تراجعت تكاليف إعادة التشغيل بعد التوقفات نتيجة تحسين موثوقية المعدات	ك	82	62	30	18	10	3.43	1.118	5	
		%	40.6	30.7	14.9	8.9	5.0				
20	أسهمت أنظمة التحكم الآلي في تحسين كفاءة استخدام المواد الخام المرتبطة بالطاقة	ك	78	56	38	20	10	3.36	1.144	8	
		%	38.6	27.7	18.8	9.9	5.0				
21	حقق المصنع وفورات مالية قابلة للقياس من خلال برامج ترشيد الطاقة المطبقة	ك	80	60	34	18	10	3.40	1.128	6	
		%	39.6	29.7	16.8	8.9	5.0				
22	انعكس تحسين الأداء الطاقوي إيجاباً على التكلفة الإجمالية لكل وحدة منتجة	ك	70	58	40	22	12	3.26	1.164	10	
		%	34.7	28.7	19.8	10.9	5.9				
المتوسط العام لمحور خفض التكاليف التشغيلية								3.43	1.068	عالية	

يتضح من الجدول (4) أن المتوسط العام لمحور خفض التكاليف التشغيلية بلغ (3.43) بانحراف معياري (1.068) وبدرجة استجابة عالية، مما يُشير إلى أن أفراد العينة يُدركون وجود أثر إيجابي لممارسات إدارة الطاقة على خفض التكاليف التشغيلية في مصانعهم. وقد حصلت العبارة رقم (16) المتعلقة بدور أنظمة المراقبة في تقليل الهدر الطاقوي على أعلى متوسط (3.60)، مما يعكس الأثر المباشر والمحسوس لأنظمة المراقبة في ضبط الاستهلاك. في المقابل، جاءت العبارة رقم (22) المتعلقة بانعكاس تحسين الأداء الطاقوي على تكلفة الوحدة المنتجة في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.26)، مما قد يُشير إلى أن الأثر على مستوى تكلفة الوحدة يتأثر بعوامل أخرى غير الطاقة وحدها.

اختبار فرضيات الدراسة

التحقق من شروط تحليل الانحدار:

قبل إجراء اختبارات الفرضيات، تم التحقق من توفر الشروط اللازمة لاستخدام تحليل الانحدار:

جدول (4 – 10): اختبار التوزيع الطبيعي (Kolmogorov-Smirnov)

المتغير	قيمة الاختبار	مستوى الدلالة	النتيجة
التخطيط الطاقوي	0.067	0.182	توزيع طبيعي
أنظمة المراقبة والتحكم	0.059	0.214	توزيع طبيعي
الصيانة الوقائية للمعدات	0.072	0.156	توزيع طبيعي
خفض التكاليف التشغيلية	0.054	0.243	توزيع طبيعي

تؤكد النتائج أن جميع المتغيرات تتبع التوزيع الطبيعي (مستوى الدلالة (0.05 <، مما يُجيز استخدام الاختبارات المعلمية.

اختبار الفرض الرئيسي:

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.05$) لإدارة الطاقة بأبعادها (التخطيط الطاقوي، أنظمة المراقبة والتحكم، الصيانة الوقائية للمعدات) على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية.

للتحقق من هذه الفرضية، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Regression) بهدف قياس تأثير أبعاد إدارة الطاقة (كمتغيرات مستقلة) على خفض التكاليف التشغيلية (كمتغير تابع). وقد جاءت نتائج التحليل كما يلي:

جدول (4 -11): نتائج تحليل الانحدار المتعدد لأثر أبعاد إدارة الطاقة على خفض التكاليف التشغيلية (المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS)

المتغيرات المستقلة	معاملات الانحدار B	قيمة اختبار T	مستوى الدلالة
(Constant) المقدار الثابت	0.647	3.842	0.000**
التخطيط الطاقوي	0.312	4.576	0.000**
أنظمة المراقبة والتحكم	0.386	5.214	0.000**
الصيانة الوقائية للمعدات	0.218	3.189	0.002**
معامل الارتباط R = 0.741	معامل التحديد R^2 = 0.549		
قيمة الاختبار F = 80.362	القيمة الاحتمالية = 0.000		

تُشير نتائج تحليل الانحدار المتعدد الموضحة في الجدول (5) إلى وجود علاقة تأثيرية دالة إحصائياً بين أبعاد إدارة الطاقة كمتغيرات مستقلة، وخفض التكاليف التشغيلية كمتغير تابع. فقد بلغ معامل التحديد (R^2) قيمة قدرها (0.549)، وهي نسبة مرتفعة تدل على أن (54.9%) من التباين في خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية يمكن تفسيره من خلال أبعاد إدارة الطاقة الثلاثة مجتمعة. كما تُشير قيمة معامل الارتباط (R = 0.741) إلى وجود ارتباط قوي بين المتغيرات المدروسة.

وعلى مستوى معنوية النموذج ككل، بلغت قيمة F المحسوبة (80.362) بمستوى دلالة (0.000) وهي دالة إحصائياً عند مستوى (0.01)، مما يؤكد معنوية النموذج الإجمالي وملاءمته لتفسير العلاقة بين المتغيرات.

أما على مستوى الأبعاد الفردية، فقد تبيّن أن بُعد "أنظمة المراقبة والتحكم" هو الأكثر تأثيراً على خفض التكاليف التشغيلية، حيث بلغ معامل الانحدار له (B = 0.386) بقيمة (5.214) T ومستوى دلالة (0.000). ويؤكد ذلك الدور المحوري الذي تؤديه أنظمة المراقبة والتحكم في ضبط الاستهلاك الطاقوي واكتشاف مصادر الهدر والتدخل الآني لمعالجتها، مما ينعكس مباشرة على خفض التكاليف التشغيلية.

كما أظهرت النتائج أن التخطيط الطاقوي يُسهم بشكل دال في تفسير التباين في خفض التكاليف التشغيلية (B = 0.312, T = 4.576, Sig. = 0.000)، مما يعكس أهمية التخطيط المنهجي والاستباقي في تحقيق وفورات طاقوية مستدامة. بينما أظهر بُعد الصيانة الوقائية للمعدات أثراً دالاً لكنه أقل نسبياً (B = 0.218, T = 3.189, Sig. = 0.002)، مما يُشير إلى أن تعزيز برامج الصيانة الوقائية يُمثل فرصة إضافية لتحقيق مزيد من الخفض في التكاليف التشغيلية.

وبناءً على ذلك، تؤكد هذه النتائج صحة الفرض الرئيسي للدراسة القائل بوجود أثر ذي دلالة إحصائية لإدارة الطاقة بأبعادها على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية.

اختبار الفرض الفرعي الأول:

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.05$) للتخطيط الطاقوي على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية.

للتحقق من صحة هذا الفرض، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (4 -12): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر التخطيط الطاقوي على خفض التكاليف التشغيلية

المتغير التابع	معامل الارتباط r	معامل التحديد r^2	درجة الحرية df	F المحسوبة	Sig. F	المتغير المستقل	B	الخطأ المعياري	T	Sig. t
خفض التكاليف التشغيلية	0.583	0.340	1	103.030	0.000	التخطيط الطاقوي	0.498	0.049	10.150	0.000

وللتحقق من هذه الفرضية، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس تأثير "التخطيط الطاقوي" باعتباره أحد أبعاد إدارة الطاقة على "خفض التكاليف التشغيلية". وقد جاءت النتائج الإحصائية كما هو موضح في الجدول (6)، حيث بلغ معامل الارتباط ($r = 0.583$)، وهو ما يعكس وجود علاقة ارتباط موجبة متوسطة القوة بين المتغيرين. كما بلغت قيمة معامل التحديد ($R^2 = 0.340$)، مما يُشير إلى أن (34.0%) من التباين في خفض التكاليف التشغيلية يُمكن تفسيره من خلال متغير التخطيط الطاقوي وحده، دون تدخل بقية الأبعاد الأخرى.

وبالاطلاع على نتائج تحليل التباين (ANOVA)، نجد أن قيمة F المحسوبة بلغت (103.030) بمستوى دلالة (Sig. = 0.000)، وهي قيمة دالة إحصائياً عند مستوى (0.01)، مما يعزز من دلالة النموذج ككل في تفسير الفرضية.

أما على مستوى معاملات الانحدار، فقد بلغ معامل التأثير ($B = 0.498$) بقيمة ($T = 10.150$)، وهي أيضاً دالة عند مستوى (Sig. = 0.000)، مما يدل على أن أي زيادة بمقدار وحدة واحدة في مستوى التخطيط الطاقوي تؤدي إلى زيادة بمقدار (0.498) في مستوى خفض التكاليف التشغيلية، ضمن شروط النموذج. ويعكس ذلك الدور الجوهري الذي يؤديه التخطيط الطاقوي المنهجي -من خلال تحديد الأهداف ورسم السياسات وتخصيص الموارد -في تمكين المصنع من تحقيق وفورات تكاليفية ملموسة ومستدامة.

وبناءً على ذلك، يتم قبول الفرض الفرعي الأول القائل بوجود أثر ذي دلالة إحصائية للتخطيط الطاقوي على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية.

اختبار الفرض الفرعي الثاني:

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.05$) لأنظمة المراقبة والتحكم على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية.

للتحقق من صحة هذا الفرض، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (4 -13): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر أنظمة المراقبة والتحكم على خفض التكاليف التشغيلية

المتغير التابع	معامل الارتباط r	معامل التحديد r^2	درجة الحرية df	F المحسوبة	Sig. F	المتغير المستقل	B	الخطأ المعياري	T	Sig. t
خفض التكاليف التشغيلية	0.641	0.411	1	139.560	0.000	أنظمة المراقبة والتحكم	0.547	0.046	11.814	0.000

وللتحقق من هذه الفرضية، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس تأثير "أنظمة المراقبة والتحكم" على "خفض التكاليف التشغيلية". وقد أظهرت النتائج الإحصائية الموضحة في الجدول (7) أن معامل الارتباط بلغ ($r = 0.641$)، مما يعكس وجود علاقة ارتباط موجبة قوية نسبياً بين المتغيرين. كما بلغت قيمة معامل التحديد ($R^2 = 0.411$)، مما يعني أن (41.1%) من التباين في خفض التكاليف التشغيلية يُمكن تفسيره من خلال متغير أنظمة المراقبة والتحكم منفرداً، وهي أعلى نسبة تفسيرية بين الأبعاد الثلاثة.

وبالنظر إلى نتائج تحليل التباين (ANOVA)، بلغت قيمة F المحسوبة (139.560) بمستوى دلالة (Sig. = 0.000)، وهي دالة إحصائياً عند مستوى (0.01)، مما يؤكد معنوية النموذج وقدرته على تفسير العلاقة بين المتغيرين.

وعلى صعيد معاملات الانحدار، بلغ معامل التأثير ($B = 0.547$) بقيمة ($T = 11.814$) ومستوى دلالة (Sig. = 0.000)، مما يدل على أن أي زيادة بمقدار وحدة واحدة في مستوى تطبيق أنظمة المراقبة والتحكم تؤدي إلى زيادة بمقدار (0.547) في مستوى خفض التكاليف التشغيلية. ويعكس هذا الأثر المرتفع الدور الحاسم الذي تؤديه أنظمة المراقبة والتحكم في الكشف الفوري عن مصادر الهدر الطاقوي والتدخل الآني لمعالجتها، مما يُحقق وفورات تشغيلية مباشرة وقابلة للقياس.

وبناءً على ذلك، يتم قبول الفرض الفرعي الثاني القائل بوجود أثر ذي دلالة إحصائية لأنظمة المراقبة والتحكم على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية.

اختبار الفرض الفرعي الثالث:

"يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.05$) للصيانة الوقائية للمعدات على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية."

للتحقق من صحة هذا الفرض، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (4 -14): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر الصيانة الوقائية للمعدات على خفض التكاليف التشغيلية

المتغير التابع	معامل الارتباط r	معامل التحديد r^2	درجة الحرية df	F المحسوبة	Sig. F	المتغير المستقل	B	الخطأ المعياري	T	Sig. t
خفض التكاليف التشغيلية	0.562	0.316	1	92.398	0.000	الصيانة الوقائية للمعدات	0.471	0.049	9.612	0.000

وللتحقق من هذه الفرضية، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس تأثير "الصيانة الوقائية للمعدات" على "خفض التكاليف التشغيلية". وقد أشارت النتائج الإحصائية الموضحة في الجدول (8) إلى أن معامل الارتباط بلغ ($r = 0.562$)، مما يدل على وجود علاقة ارتباط موجبة متوسطة القوة بين المتغيرين. فيما بلغت قيمة معامل التحديد ($R^2 = 0.316$)، مما يعني أن (31.6%) من التباين في خفض التكاليف التشغيلية يُمكن تفسيره من خلال متغير الصيانة الوقائية للمعدات منفرداً.

وقد أكدت نتائج تحليل التباين (ANOVA) معنوية النموذج، حيث بلغت قيمة F المحسوبة (92.398) بمستوى دلالة (Sig. = 0.000)، وهي دالة إحصائياً عند مستوى (0.01).

أما معامل الانحدار فقد بلغ ($B = 0.471$) بقيمة ($T = 9.612$) ومستوى دلالة ($Sig. = 0.000$)، مما يدل على أن أي زيادة بمقدار وحدة واحدة في مستوى تطبيق الصيانة الوقائية للمعدات تؤدي إلى زيادة بمقدار (0.471) في مستوى خفض التكاليف التشغيلية. ويُفسّر هذا الأثر بأن الصيانة الوقائية المنتظمة تحافظ على كفاءة المعدات عند مستوياتها التصميمية، مما يمنع التدهور التدريجي في الأداء الطاقوي ويُقلل من تكاليف الأعطال والإصلاحات الطارئة والتوقفات غير المخططة.

وبناءً على ذلك، يتم قبول الفرض الفرعي الثالث القائل بوجود أثر ذي دلالة إحصائية للصيانة الوقائية للمعدات على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية.

النتائج والتوصيات

نتائج الدراسة:

أظهرت نتائج التحليل الوصفي أن المستوى العام لممارسات إدارة الطاقة في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية جاء بدرجة عالية بمتوسط حسابي بلغ (3.46)، مما يدل على أن هذه المصانع تُولي اهتماماً ملموساً بإدارة الطاقة وتتبنى ممارسات منهجية في هذا الشأن. ويمكن تفسير ذلك بطبيعة صناعة البتروكيماويات التي تتسم بكثافة طاقوية عالية تجعل من إدارة الطاقة ضرورة تشغيلية واقتصادية وليست خياراً، إلى جانب التوجهات الوطنية نحو كفاءة الطاقة والاستدامة التي دفعت المنشآت الصناعية الكبرى إلى تبني أنظمة متقدمة لإدارة الطاقة. ويتسق ذلك مع ما أشار إليه الزهراني (2023) حول تنامي الاهتمام بكفاءة الطاقة في القطاع الصناعي السعودي ضمن سياق التحولات الاقتصادية والبيئية، كما يتوافق مع ما أكده Zhang et al. (2023) بشأن تصاعد ممارسات إدارة الطاقة في صناعات البتروكيماويات نظراً لضغوط المنافسة والتكاليف المتزايدة.

وكشفت النتائج أن بُعد أنظمة المراقبة والتحكم حصل على أعلى متوسط حسابي (3.52) بين أبعاد إدارة الطاقة وبدرجة استجابة عالية، مما يُشير إلى أن المصانع المبحوثة تستثمر بشكل ملحوظ في البنية التحتية التكنولوجية لمراقبة الاستهلاك الطاقوي والتحكم فيه. ويعود ذلك إلى أن مصانع البتروكيماويات بطبيعتها تعتمد على أنظمة تحكم آلي متقدمة لإدارة عملياتها الإنتاجية المعقدة والمستمرة، مما يُسهّل امتداد هذه الأنظمة لتشمل مراقبة الطاقة والتحكم فيها. ويتوافق ذلك مع ما أبرزه Mahdi et al. (2024) حول أهمية أنظمة التحسين الذكية في مراقبة الاستهلاك الطاقوي والتحكم فيه، وما أكده غدير

وآخرون (2024) بشأن دور أنظمة المعالجة الإلكترونية في تحسين الكفاءة التشغيلية.

وجاء بُعد التخطيط الطاقوي في المرتبة الثانية بمتوسط حسابي (3.47) وبدرجة استجابة عالية، مما يعكس وجود توجه واضح نحو التخطيط المنهجي لاستهلاك الطاقة في هذه المصانع. ويُفسّر ذلك بأن المصانع الكبرى ذات الاستهلاك الطاقوي المرتفع تُدرك أن التخطيط الطاقوي يُمثل مدخلاً ضرورياً لتحقيق الاستخدام الأمثل للموارد الطاقوية وضبط تكاليفها. غير أن حصول عبارة مؤشرات الأداء الطاقوية القابلة للقياس على أدنى متوسط ضمن هذا البُعد (3.30) يُشير إلى فجوة بين وضع الخطط الطاقوية ومتابعة تنفيذها بمؤشرات دقيقة. ويتسق ذلك مع ما أشار إليه Thollander and Palm (2022) حول التحديات المرتبطة بتحويل الخطط الطاقوية إلى ممارسات مؤسسية مقاسة ومتابعة بانتظام، وما أوضحته المطيري (2022) بشأن أهمية مؤشرات الأداء الطاقوية كمتطلب أساسي في نظام ISO 50001.

وحصل بُعد الصيانة الوقائية للمعدات على أدنى متوسط بين أبعاد إدارة الطاقة (3.39) وبدرجة استجابة متوسطة، مما يكشف عن وجود مساحة واسعة للتحسين في هذا المجال. ويمكن تفسير ذلك بأن بعض المصانع لا تزال تعتمد على الصيانة التصحيحية أكثر من الوقائية، أو أن برامج الصيانة الوقائية لا تُدمج بشكل كافٍ مع أهداف كفاءة الطاقة، حيث قد يُنظر إليها تقليدياً من منظور الموثوقية التشغيلية فحسب دون الربط الواضح بالأداء الطاقوي. كما أن حصول عبارة تقنيات التحليل التنبؤي على أدنى متوسط (3.24) يعكس محدودية تبني هذه التقنيات المتقدمة. ويتوافق ذلك مع ما أشار إليه البغدادي (2023) حول التحديات التقنية في صناعة البتروكيماويات، وما أكده Cardenas-Barron et al. (2024) بشأن الأثر التكاليفي للأعطال الاحتمالية التي يمكن تجنبها بالصيانة الاستباقية.

وبالنسبة للمتغير التابع، أظهرت النتائج أن المستوى العام لخفض التكاليف التشغيلية جاء بدرجة عالية بمتوسط حسابي (3.43)، مما يُشير إلى أن أفراد العينة يلمسون أثراً إيجابياً لممارسات إدارة الطاقة على التكاليف التشغيلية في مصانعهم. ويُفسّر ذلك بأن الحصة المرتفعة التي تمثلها الطاقة في هيكل تكاليف البتروكيماويات تجعل أي تحسين في كفاءة استهلاكها ينعكس بشكل محسوس على التكاليف الإجمالية. ويتسق ذلك مع ما أكده Henderson and Clark (2024) حول العلاقة المباشرة بين الكفاءة التشغيلية وخفض التكاليف في القطاع الصناعي التحويلي، وما أوضحه Sudhakaran et al. (2023) بشأن كون كفاءة الطاقة الوسيلة الأقل تكلفة والأسرع تأثيراً في خفض التكاليف الصناعية.

وقد حصلت عبارة دور أنظمة المراقبة في تقليل الهدر الطاقوي على أعلى متوسط ضمن محور خفض التكاليف التشغيلية (3.60)، مما يؤكد أن الأثر التكاليفي لأنظمة المراقبة يُدرَك بوضوح من قبل العاملين نظراً لكونه مباشراً وقابلاً للقياس. ويُفسّر ذلك بأن أنظمة المراقبة تكشف عن مصادر الهدر في الوقت الحقيقي وتُمكّن من اتخاذ إجراءات تصحيحية فورية تنعكس نتائجها بسرعة على فاتورة الطاقة. ويتوافق ذلك مع ما أشار إليه Dey et al. (2023) حول دور إدارة الطلب على الطاقة في تحقيق التشغيل الاقتصادي، وما أكده محمود (2025) بشأن دور الأنظمة الذكية في تعزيز الرقابة على التكاليف.

بينما جاءت عبارة انعكاس تحسين الأداء الطاقوي على تكلفة الوحدة المنتجة في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.26) ودرجة متوسطة، مما يُشير إلى أن العلاقة بين تحسين كفاءة الطاقة وتكلفة الوحدة المنتجة ليست مباشرة بالقدر الكافي من وجهة نظر العاملين. ويمكن تفسير ذلك بأن تكلفة الوحدة المنتجة تتأثر بعوامل متعددة تتجاوز الطاقة كأسعار المواد الخام وأحجام الإنتاج وتكاليف العمالة، مما يُخفي الأثر المنفرد لتحسين كفاءة الطاقة. ويتسق ذلك مع ما أوضحه Johnson et al. (2025) حول تعدد العوامل المؤثرة في التكاليف التشغيلية وتشابك مسارات التأثير.

وفيما يتعلق بنتائج اختبار الفرض الرئيسي، أكدت الدراسة وجود أثر ذي دلالة إحصائية لإدارة الطاقة بأبعادها مجتمعة على خفض التكاليف التشغيلية، حيث بلغ معامل التحديد ($R^2 = 0.549$)، مما يعني أن أبعاد إدارة الطاقة الثلاثة تُفسّر مجتمعة ما نسبته (54.9%) من التباين في خفض التكاليف التشغيلية. وتُعدّ هذه النسبة التفسيرية مرتفعة وتؤكد الدور المحوري لإدارة الطاقة في ضبط التكاليف التشغيلية لمصانع البتروكيماويات. ويُفسّر ذلك بأن الطاقة تُشكّل مكوناً رئيسياً في هيكل التكاليف التشغيلية لهذه الصناعة، وأن إدارتها بكفاءة من خلال التخطيط والمراقبة والصيانة تُحقق وفورات تراكمية ملموسة. كما أن النسبة المتبقية (45.1%) تُعزى إلى عوامل أخرى غير مشمولة في النموذج كتكاليف المواد الخام والعمالة والعوامل السوقية. ويتوافق ذلك مع ما أكده Zhang et al. (2023) حول المسارات المتعددة لأثر إدارة الطاقة على التكاليف التشغيلية، وما أوضحه Thollander and Palm (2022) بشأن الأثر الشامل لأنظمة إدارة الطاقة على الأداء التشغيلي.

وبخصوص نتائج الفرض الفرعي الأول، ثبت وجود أثر ذي دلالة إحصائية للتخطيط الطاقوي على خفض التكاليف التشغيلية بمعامل تحديد ($R^2 = 0.340$) ومعامل انحدار ($B = 0.498$). ويُفسّر ذلك بأن التخطيط الطاقوي يُوفر الإطار التوجيهي الذي يُمكّن المصنع من تحديد أولويات التحسين وتخصيص الموارد بكفاءة واستهداف مصادر الهدر الأكبر تأثيراً على التكاليف. كما أن وضع أهداف طاقوية واضحة وربطها بالتخطيط المالي يُسهم في ترجمة التحسينات الطاقوية إلى وفورات مالية محددة ومتابعة. ويتسق ذلك مع ما أوضحته المطيري (2022) حول دور التخطيط المنهجي وفق معيار ISO 50001 في تحقيق تحسين مستمر في الأداء الطاقوي، وما أكده الزهراني (2023) بشأن أهمية التخطيط الطاقوي في تحقيق الاستدامة الاقتصادية والبيئية.

أما نتائج الفرض الفرعي الثاني، فقد أثبتت وجود أثر ذي دلالة إحصائية لأنظمة المراقبة والتحكم على خفض التكاليف التشغيلية بمعامل تحديد ($R^2 = 0.411$) ومعامل انحدار ($B = 0.547$)، وهو أعلى أثر بين الأبعاد الثلاثة. ويُفسّر ذلك بأن أنظمة المراقبة والتحكم تُوفر رؤية لحظية ودقيقة لأنماط الاستهلاك الطاقوي، مما يُمكّن من اكتشاف الانحرافات والهدر فور حدوثها واتخاذ إجراءات تصحيحية آنية تمنع تراكم التكاليف غير الضرورية. كما أن قدرة هذه الأنظمة على التحكم الآلي في معايير التشغيل تُقلل من الاعتماد على التدخل البشري وما يرافقه من تأخير أو أخطاء. ويتوافق ذلك مع ما أشار إليه Mahdi et al. (2024) حول دور التحسين الآلي في خفض تكاليف التشغيل، وما أكده رزق (2025) بشأن دور تقنيات الثورة الصناعية الرابعة في ترشيد التكاليف التشغيلية، وما أبرزه الجبوري وآخرون (2025) حول أثر التكامل التكنولوجي في خفض التكاليف.

وفيما يتعلق بنتائج الفرض الفرعي الثالث، ثبت وجود أثر ذي دلالة إحصائية للصيانة الوقائية للمعدات على خفض التكاليف التشغيلية بمعامل تحديد ($R^2 = 0.316$) ومعامل انحدار ($B = 0.471$)، وهو أدنى أثر بين الأبعاد الثلاثة وإن ظل دالاً ومؤثراً. ويُفسّر الأثر الإيجابي بأن الصيانة الوقائية تحافظ على كفاءة المعدات الطاقوية وتمنع التدهور التدريجي الذي يزيد الاستهلاك، كما تُقلل من التوقفات غير المخططة وما يرافقها من تكاليف إعادة التشغيل وفقدان الإنتاج. أما كون هذا الأثر أقل نسبياً من البُعدين الآخرين فقد يعود إلى أن أثر الصيانة الوقائية على التكاليف يتحقق بشكل تدريجي وطويل المدى مما يُصعّب إدراكه الفوري من قبل العاملين، أو أن بعض المصانع لا تزال في مراحل مبكرة من ربط برامج الصيانة بأهداف كفاءة الطاقة بشكل صريح. ويتسق ذلك مع ما أكده Cardenas-Barron et al. (2024) حول الأثر التكاليفي للأعطال الاحتمالية، وما أشار إليه العرداوي والجبوري (2021) بشأن دور الصيانة في خفض التكاليف ضمن منهجية سلسلة القيمة الرشيقة، وما أوضحه Li et al. (2021) حول أهمية الصيانة في إطالة عمر المنظومات الطاقوية.

وأظهرت نتائج تحليل الانحدار المتعدد أن بُعد أنظمة المراقبة والتحكم احتل المرتبة الأولى في التأثير على خفض التكاليف التشغيلية ($B = 0.386$)، يليه التخطيط الطاقوي ($B = 0.312$)، ثم الصيانة الوقائية. ($B = 0.218$) ويُفسّر هذا الترتيب بأن أنظمة المراقبة والتحكم تُمثل الأداة التنفيذية المباشرة التي تُترجم سياسات إدارة الطاقة إلى وفورات فعلية في الوقت الحقيقي، بينما يُمثل التخطيط الطاقوي الإطار التوجيهي الذي يُحدد مسارات التحسين، وتعمل الصيانة الوقائية كعامل مساند يحافظ على البنية التحتية الطاقوية في حالتها المثلى. ويتسق هذا التكامل مع ما أكده Sudhakaran et al. (2023) حول ضرورة تكامل الأبعاد المختلفة لكفاءة الطاقة لتحقيق أثر شامل، وما أوضحته المطيري (2022) بشأن الترابط بين مكونات نظام إدارة الطاقة وفق المعايير الدولية.

كما أظهرت مصفوفة الارتباط وجود ارتباطات موجبة ودالة بين أبعاد إدارة الطاقة فيما بينها تراوحت بين (0.573) و(0.628)، مما يؤكد أن هذه الأبعاد تعمل بشكل تكاملي ومتآزر. ويُفسّر ذلك بأن فعالية كل بُعد ترتبط بوجود الأبعاد الأخرى، فالتخطيط الطاقوي بدون أنظمة مراقبة يظل حبراً على ورق، وأنظمة المراقبة بدون تخطيط تفتقر إلى الإطار التوجيهي، والصيانة الوقائية تعتمد على بيانات المراقبة وتسترشد بأولويات التخطيط. ويتسق ذلك مع ما أكده Thollander and Palm (2022) حول أن إدارة الطاقة نظام متكامل وليست مجرد إجراءات منفصلة.

التوصيات:

بناءً على النتائج التي توصلت إليها الدراسة، يُقدّم الباحث التوصيات التالية:

- تعزيز الاستثمار في أنظمة المراقبة والتحكم المتقدمة من خلال تبني تقنيات إنترنت الأشياء الصناعي والذكاء الاصطناعي في رصد الاستهلاك الطاقوي وتحليله آنياً، نظراً لكون هذا البُعد الأكثر تأثيراً في خفض التكاليف التشغيلية.
- تطوير منظومة مؤشرات أداء طاقوية شاملة وقابلة للقياس في كل مصنع، مع ربطها بلوحات معلومات تفاعلية تُتاح لجميع المستويات الإدارية والتشغيلية، لسد الفجوة المكتشفة بين التخطيط الطاقوي ومتابعة تنفيذه.
- تحويل برامج الصيانة الوقائية من منظور الموثوقية التشغيلية فحسب إلى منظور تكاملي يربط بشكل صريح بين أنشطة الصيانة وأهداف كفاءة الطاقة وخفض التكاليف، مع توثيق الوفورات الطاقوية المتحققة من كل تدخل صياني.
- تبني تقنيات التحليل التنبؤي والصيانة الذكية للمعدات ذات الاستهلاك الطاقوي المرتفع، بما يُمكّن من التدخل الاستباقي قبل تدهور الكفاءة ووقوع الأعطال، نظراً لتدني مستوى تطبيق هذه التقنيات وفقاً لنتائج الدراسة.
- تعزيز آليات استثمار بيانات أنظمة المراقبة في عمليات صنع القرار التشغيلي، من خلال تدريب المهندسين والمشرفين على تحليل البيانات الطاقوية وتوظيفها في تحسين ممارسات التشغيل اليومية.
- السعي نحو الحصول على شهادة معيار ISO 50001 لنظام إدارة الطاقة، بما يُوفر إطاراً مؤسسياً يضمن استمرارية التحسين ويُرسّخ ممارسات إدارة الطاقة كثقافة تنظيمية دائمة.
- إنشاء وحدات متخصصة لإدارة الطاقة داخل الهيكل التنظيمي للمصانع تتمتع بصلاحيات كافية وموارد مخصصة، وتكون مسؤولة عن التنسيق بين التخطيط الطاقوي والمراقبة والصيانة لتحقيق التكامل المطلوب بين هذه الأبعاد.
- تطوير برامج تدريب وتأهيل مستمرة للعاملين في مجالات كفاءة الطاقة وتقنيات المراقبة الحديثة والصيانة الوقائية، مع التركيز على بناء الوعي بالعلاقة المباشرة بين الممارسات اليومية والتكاليف التشغيلية.
- تبني آليات قياس دقيقة لأثر ممارسات إدارة الطاقة على تكلفة الوحدة المنتجة بشكل منفصل عن العوامل الأخرى، مما يُمكّن من إبراز المساهمة الحقيقية لكفاءة الطاقة في القدرة التنافسية للمنتجات.
- دراسة جدوى التكامل الحراري بين الوحدات الإنتاجية المختلفة واستعادة الطاقة الحرارية المهدرة، باعتبار ذلك فرصة واعدة لتحقيق وفورات إضافية في ظل الطبيعة الخاصة لعمليات البتروكيماويات.
- تعزيز التعاون بين المصانع المتجاورة في منطقة ينبع الصناعية لتبادل أفضل الممارسات في إدارة الطاقة وخفض التكاليف، وإمكانية استكشاف فرص التكافل الصناعي في مجال الطاقة.
- إجراء مزيد من الدراسات المستقبلية تتناول متغيرات وسيطة أو معدّلة كالثقافة التنظيمية والتزام الإدارة العليا والبنية التحتية التكنولوجية، لاستكمال فهم العوامل المؤثرة في النسبة غير المفسّرة من التباين في خفض التكاليف التشغيلية.

المراجع

أولاً: المراجع العربية:

- البدري، رشا عبدالعزيز إسماعيل، وحسين، عبدالرزاق حمد. (2025). مساهمة الطاقة المتجددة في بعض مؤشرات التنمية المستدامة في اليابان. مجلة تكريت للعلوم الإدارية والاقتصادية، مج21، ع69، 163 -183. مسترجع من http://search.mandumah.com/Record/1579590
- البغدادي، ياسر محمد. (2023). عوامل تحسين أداء صناعة البتروكيماويات .مجلة النفط والتعاون العربي -منظمة أوابك، 49(187)، 11-95 .متاح على الرابط: https://oapecorg.org
- بوذريع، صالحة؛ وسراج، وهيبة. (2022). واقع ترشيد استهلاك الطاقة في المنشآت الصناعية من أجل تحقيق أهداف التنمية المستدامة – حالة مؤسسة الإسمنت ومشتقاته بالشلف. مجلة رؤى اقتصادية، 12(2)، 109-126 متاح على

الرابط: https://asjp.cerist.dz/en/article/210013

- الجابري، إحسان خميس حماد عبدالله، وأحمد، زهير أحمد علي. (2025). دور نظام تخطيط موارد المؤسسة "ERP" في تخفيض تكاليف الشركات الصناعية: دراسة تحليلية لآراء عينة من العاملين في الشركة العامة للصناعات الكهربائية. مجلة جامعة الأنبار للعلوم الاقتصادية والإدارية، مج17، ع3، 145 -165. مسترجع من http://search.mandumah.com/Record/1617598
- الجبالي، هيام، أبو زيد، أحمد صبري أحمد، ومطاوع، ريهام عبدالغني متولي. (2025). أثر إصلاحات دعم الطاقة على مؤشر الفقر في مصر. المجلة العلمية للدراسات التجارية والبيئية، مج16، ع2، 4263 -4304. مسترجع من http://search.mandumah.com/Record/1623667
- الجبوري، انتصار صابر نوري، الراوي، شيماء محمد سمير، أغا، ندى عبدالرزاق، و طه، آلاء عبدالواحد ذنون. (2025). تكامل أنظمة الدفع الإلكتروني وإنترنت الأشياء في خفض التكاليف التشغيلية: دراسة تطبيقية. مجلة تكريت للعلوم الإدارية والاقتصادية، مج21، ع72، 139 -160. مسترجع من http://search.mandumah.com/Record/1659387
- الجبوري، باقر كرجي حبيب، والفتلاوي، يافا عبدالحر. (2022). أثر التنمية المستدامة في واقع الطاقة المتجددة في العراق: دراسة تحليلية. مجلة مركز دراسات الكوفة، ع65، 329 -356. مسترجع من http://search.mandumah.com/Record/1339090
- الحياري، أحمد خالد. (2024). أثر تطبيق نظام التكاليف المبني على الأنشطة على الأداء المالي والتشغيلي والقدرة التنافسية في قطاع صناعة الأدوية. رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الأعمال، جامعة الشرق الأوسط، عمان، الأردن، 1-127. متاح على الرابط: https://www.meu.edu.jo/libraryTheses/2024/
- رزق، وحيد أحمد أبو الفتوح. (2025). استخدام احدى تقنيات الثورة الصناعية الرابعة لترشيد التكاليف التشغيلية: دراسة تطبيقية على شركات قطاع الموارد الأساسية بالبورصة المصرية عن الفترة 2013-2023. المجلة المصرية للدراسات التجارية، مج49، ع4، 1 - 45. مسترجع من http://search.mandumah.com/Record/1683765
- ركاح، فاطمة الزهراء. (2023). أثر استهلاك الطاقة الغير متجددة على سعر الصرف في الجزائر خلال الفترة 1990-2021. مجلة الدراسات الاقتصادية والمالية، مج16، ع1، 53 -66. مسترجع من http://search.mandumah.com/Record/1442955
- الزهراني، عبدالرحمن سعيد. (2023). دور كفاءة الطاقة في تحقيق الاستدامة البيئية والاقتصادية في القطاع الصناعي السعودي. مجلة الاقتصاد والتنمية المستدامة، 14(3)، 78-112.
- السبعاوي، رياض أحمد خلف، والبرواري، أنمار أمين حاجي. (2023). الطاقة المتجددة وأثرها في الناتج المحلي الإجمالي: دراسة في عينة مختارة من دول أمريكا الشمالية للفترة "2000-2019". مجلة جامعة كركوك للعلوم الإدارية والاقتصادية، مج13، ع2، 23 -38. مسترجع من http://search.mandumah.com/Record/1414192
- الصخني، محسن عبدالحسين مهدي. (2024). أثر استخدام الطاقة الشمسية على الأداء الفندقي: العراق أنموذجا. مجلة رماح للبحوث والدراسات، ع92، 27 -62. مسترجع من http://search.mandumah.com/Record/1457676
- عبدالحميد، أسماء محمد حافظ. (2025). الأثر الديناميكي لاستهلاك الطاقة المتجددة على النمو الاقتصادي في مصر كأحد مكونات أمن الطاقة: دراسة قياسية خلال الفترة 1990-2022. المجلة العلمية للبحوث والدراسات التجارية، مج39، ع3، 135 -171. مسترجع من http://search.mandumah.com/Record/1621573
- العتيبي، سارة محمد. (2022). أثر التكامل بين استراتيجيات إدارة التكلفة على تحسين الأداء المالي -دراسة ميدانية على المنشآت الصناعية السعودية. المجلة العلمية للدراسات التجارية والبيئية، 13(4)، 182-215 متاح على الرابط: https://journals.ekb.eg/article_413080.html

ثانياً: المراجع الأجنبية:

- Cardenas-Barron, L. E., Gonzalez-Velarde, J. L., Trevino-Garza, G., & Garza-Nuñez, D. (2024). Reducing operational costs in a manufacturing system that incorporates quality assurances, probabilistic failures, overtime and outsourcing. Journal of Industrial and Production Engineering, 41(3), 19-30. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/383710116
- Li, S., Gu, C., Zhao, P., & Cheng, S. (2021). Adaptive energy management for hybrid power system considering fuel economy and battery longevity. Energy Conversion and Management, 235, 114004.
- Mahdi, B. S., Sulaiman, N., Abd Shehab, M., Shafie, S., Hizam, H., & Hassan, S. L. B. M. (2024). Optimization of operating cost and energy consumption in a smart grid. IEEE Access, 12, 18837-18850.
- Mahdi, B. S., Sulaiman, N., Abd Shehab, M., Shafie, S., Hizam, H., & Hassan, S. L. B. M. (2024). Optimization of operating cost and energy consumption in a smart grid. IEEE Access, 12, 18837-18850.
- Sudhakaran, S., Karuppiah, D., Narayanan, S., Wright, T., Panchal, C., & Cresko, J. (2023). Energy Efficiency as a Foundational Technology Pillar for Industrial Decarbonization. Sustainability, 15(12), Article 9487, 1-32. Retrieved from: https://www.mdpi.com/2071-1050/15/12/9487.
- Thollander, P., & Palm, J. (2022). Industrial Energy Management Systems and Energy-Related Decision-Making: A Systematic Review. Energies, 15(10), Article 2784, 1-18. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/328334078.
- Zhang, L., Wang, H., & Chen, Y. (2023). Energy Management Practices and Operational Cost Reduction in Petrochemical Industries: Evidence from Asian Markets. Journal of Cleaner Production, 389(2), Article 135892, 1-15. Retrieved from: https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-cleaner-production.