

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

إعداد الطالب/

مجد خالد الغنيم

253000834

المشرف الثاني/

د.فايز جراد

المشرف الرئيسي/

د. الفیصل عبد الحمید

العام الدراسي:

2026 – 1448



إهداء

أهدي ثمرة جهدي المتواضع

إلى من وهبوني الحياة والأمل، والنشأة على شغف الاطلاع والمعرفة، ومن علموني أن
أرتقي سلم الحياة بحكمة وصبر

براء وإحساناً، ووفاء لهما والدي العزيز، ووالدتي العزيزة. إلى من وهبني الله نعمة
وجودهم في حياتي إلى العقد المتين

من كانوا عوناً لي في رحلة بحثي إخواني وأخواتي. إلى من كاتفتني ونحن نشق الطريق معا
نحو النجاح في مسيرتنا العلمية إلى رفيقة دربي

وأخيراً إلى كل من ساعدني، وكان له دور من قريب أو بعيد في إتمام هذه الدراسة

سائلة المولى أن يجزي الجميع خير الجزاء في الدنيا والآخرة. ثم إلى كل طالب علم سعى
بعلمه، ليفيد الإسلام والمسلمين

بكل ما أعطاه الله من علم ومعرفة



أحمد الله عزوجل الذي وفقني في إتمام هذا البحث العلمي

والذي ألهمني الصحة والعافية والعزيمة.

فالحمد لله حمدا كثيرا

أتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى الأستاذ الدكتور /

د. الفیصل عبد الحمید

د. فايز جراد

على كل ما قدمه لنا من توجيهات ومعلومات قيمة ساهمت في إثراء موضوع دراستنا في جوانبها المختلفة.

والشكر والتقدير موصول إلى إدارة جامعة ميد أو شن ممثلة بالكادر الأكاديمي والإداري، لما قدموه من تسهيلات وتشجيع وتوفير الخدمات المطلوبة.

كما أتقدم بالشكر الجزيل لكل من لم يسعني الحظ بذكر أسمائهم راجيا من المولي عزوجل أن تكون هذه الدراسة نافذة لدراسات أخرى .

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 وُزعت 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 فسرت 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.

قائمة المحتويات

أ.....	بسم الله الرحمن الرحيم
ب.....	الإهداء
ج.....	الشكر والتقدير
د.....	المستخلص
ه.....	قائمة المحتويات
ح.....	قائمة الجداول
1.....	الفصل الأول: الإطار العام للدراسة
1.....	1.1 المقدمة
2.....	2.1 مشكلة الدراسة
3.....	3.1 أهمية الدراسة:
4.....	4.1 أهداف الدراسة:
5.....	5.1 تساؤلات الدراسة
6.....	6.1 فروض الدراسة:
6.....	7.1 الدراسات السابقة:
12.....	8.1 الفجوة البحثية
13.....	9.1 المنطلقات النظرية للدراسة:
17.....	10.1 المنهجية وطرق البحث:
17.....	11.1 مجتمع وعينة الدراسة
18.....	12.1 مصادر جمع البيانات
18.....	13.1 الأساليب الإحصائية المستخدمة
19.....	14.1 حدود الدراسة:
20.....	الفصل الثاني: الإطار النظري للدراسة
20.....	المبحث الأول: إدارة الطاقة
20.....	1.1.2 تمهيد

20	2.1.2 مفهوم إدارة الطاقة
22	3.1.2 أهمية إدارة الطاقة
24	4.1.2 أهداف إدارة الطاقة
25	5.1.2 أبعاد إدارة الطاقة
30	6.1.2 التخطيط الطاقوي والمواءمة الاستراتيجية
31	7.1.2 التكامل بين أنظمة المراقبة والرقمنة الصناعية
32	8.1.2 إدارة الطاقة والمعايير الدولية
33	9.1.2 التحديات المعاصرة لإدارة الطاقة في الصناعات البتروكيماوية
35	المبحث الثاني: خفض التكاليف التشغيلية
35	1.2.2 تمهيد
35	2.2.2 مفهوم خفض التكاليف التشغيلية
37	3.2.2 أهمية خفض التكاليف التشغيلية
38	4.2.2 أهداف خفض التكاليف التشغيلية
39	5.2.2 أبعاد خفض التكاليف التشغيلية
41	6.2.2 استراتيجيات خفض التكاليف التشغيلية
43	7.2.2 العلاقة بين إدارة الطاقة وخفض التكاليف التشغيلية
44	8.2.2 المداخل النظرية لفهم العلاقة بين إدارة الطاقة والتكاليف التشغيلية
45	9.2.2 خفض التكاليف التشغيلية في صناعة البتروكيماويات
48	الفصل الثالث: منهجية الدراسة
48	1.3 تمهيد
48	2.3 منهج الدراسة
48	3.3 مجتمع الدراسة وعينتها
49	4.3 أداة الدراسة
50	5.3 صدق أداة الدراسة
53	6.3 ثبات أداة الدراسة

53	7.3 مصفوفة الارتباط بين متغيرات الدراسة
55	8.3 الأساليب الإحصائية المستخدمة
57	الفصل الرابع: تحليل البيانات واختبار الفرضيات
57	1.4 تمهيد
57	2.4 تحليل البيانات الديموغرافية والوظيفية
59	3.4 التحليل الوصفي لمحاور الدراسة
67	4.3 اختبار فرضيات الدراسة
73	الفصل الخامس: النتائج والتوصيات
73	1.5 تمهيد
73	2.5 نتائج الدراسة
79	Abstract
80	المراجع
85	الملاحق
86	استمارة استبيان

قائمة الجداول

رقم الصفحة	اسم الجدول	رقم الجدول
49	جدول (3 - 1) توزيع الاستبانة واستردادها	1.
50	جدول (3 - 2) هيكل أداة الدراسة	2.
50	جدول (3 - 3) مقياس ليكرت الخماسي لقياس	3.
51	جدول (3 - 4) معاملات ارتباط فقرات بُعد التخطيط الطاقوي بالدرجة الكلية للبُعد	4.
51	جدول (3 - 4) معاملات ارتباط فقرات بُعد أنظمة المراقبة والتحكم بالدرجة الكلية للبُعد	5.
51	جدول (3 - 5) معاملات ارتباط فقرات بُعد الصيانة الوقائية للمعدات بالدرجة الكلية للبُعد	6.
52	جدول (3 - 6) معاملات ارتباط فقرات متغير خفض التكاليف التشغيلية بالدرجة الكلية للمتغير	7.
52	جدول (3 - 7) معاملات ارتباط بيرسون بين الدرجة الكلية لكل بُعد والدرجة الكلية	8.
53	جدول (3 - 8) معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha)	9.
54	جدول (3 - 9) مصفوفة ارتباط بيرسون بين متغيرات الدراسة (ن = 202)	10.
55	جدول (3 - 10) التحقق من الازدواج الخطي	11.
57	جدول (4 - 1) توزيع عينة الدراسة وفقاً للمصنع	12.
58	جدول (4 - 2) توزيع عينة الدراسة وفقاً للمستوى الوظيفي	13.

رقم الصفحة	اسم الجدول	رقم الجدول
58	جدول (4 - 3) توزيع عينة الدراسة وفقاً لسنوات الخبرة	14.
59	جدول (4 - 4) توزيع عينة الدراسة وفقاً للمؤهل العلمي	15.
59	جدول (4 - 5) المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة على فقرات كل بُعد من أبعاد الدراسة	16.
60	جدول (4 - 6): التكرارات والنسب المئوية والمتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة لعبارات بُعد التخطيط الطاقوي	17.
61	جدول (4 - 7): التكرارات والنسب المئوية والمتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة لعبارات بُعد أنظمة المراقبة والتحكم	18.
63	جدول (4 - 8): التكرارات والنسب المئوية والمتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة لعبارات بُعد الصيانة الوقائية للمعدات	19.
64	جدول (4 - 9): التكرارات والنسب المئوية والمتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة لعبارات محور خفض التكاليف التشغيلية	20.
67	جدول (4 - 10) اختبار التوزيع الطبيعي (Kolmogorov-Smirnov):	21.
68	جدول (4 - 11): نتائج تحليل الانحدار المتعدد لأثر أبعاد إدارة الطاقة على خفض التكاليف التشغيلية	22.
69	جدول (4 - 12): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر التخطيط الطاقوي على خفض التكاليف التشغيلية	23.

رقم الصفحة	اسم الجدول	رقم الجدول
71	جدول (4 - 13): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر أنظمة المراقبة والتحكم على خفض التكاليف التشغيلية	24.
72	جدول (4 - 14): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر الصيانة الوقائية للمعدات على خفض التكاليف التشغيلية	25.

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1.1 المقدمة

يشهد العالم اليوم اهتماماً متزايداً بإدارة الطاقة باعتبارها أحد المداخل الإدارية الحديثة التي تُمكن 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 يُمكن 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، ويُمثل 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.

وتمثل 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 تُشكل تكاليف الطاقة ما بين 40-60% من إجمالي التكاليف التشغيلية، مما يجعلها محورياً 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 يُساهم في رفع الإنتاجية وتقليل الاعتماد على العمالة. (السيد، 2023).

و تأتي 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 .

2.1 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 تُشكل ما بين 40-60% من التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات (البغدادى، 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 طااقوية 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 (بوزريع 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 أيّ 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؟

3.1 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 متكاملًا 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 تؤدي 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.

4.1 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.

5.1 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؟

6.1 فروض الدراسة:

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.

ويتفرع من الفرض الرئيسي الفروض الفرعية التالية:

- 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.
- 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.
- 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.

7.1 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 (البغدادى، 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.

❖ دراسة (الزهراني، 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور كفاءة الطاقة بأبعادها (الكفاءة التقنية، الكفاءة الإدارية، الكفاءة السلوكية) على تحقيق الاستدامة البيئية والاقتصادية في القطاع الصناعي السعودي. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي. وتكونت العينة من 220 مديراً في المنشآت الصناعية السعودية الكبرى. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تحسين كفاءة الطاقة يُسهم بشكل مباشر في خفض الانبعاثات الكربونية وتقليل التكاليف التشغيلية، وأن الكفاءة التقنية كانت الأكثر تأثيراً على الاستدامة الاقتصادية. وأوصت الدراسة بتكثيف الاستثمار في التقنيات الموفرة للطاقة وتدريب العاملين على أفضل الممارسات.

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 المطبقة 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.

دراسة (Zhang, Wang & Chen, 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على ممارسات إدارة الطاقة بأبعادها (التدقيق الطاقوي، المراقبة المستمرة، تحسين العمليات، التدريب والتوعية) على خفض التكاليف التشغيلية في صناعات البتروكيماويات في الأسواق الآسيوية. واستخدمت الدراسة المنهج الكمي التحليلي. وتكونت العينة من 156 مصنعاً للبتروكيماويات في الصين وكوريا الجنوبية واليابان. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن المصانع التي تُطبق ممارسات إدارة الطاقة المتكاملة حققت خفضاً في التكاليف التشغيلية بنسبة تتراوح بين 12% و18%، وأن التدقيق الطاقوي المنتظم كان الأكثر تأثيراً على خفض التكاليف. وأوصت الدراسة بتبني نهج شامل لإدارة الطاقة يجمع بين التقنيات الحديثة والممارسات الإدارية الفعالة.

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 (الشمري، 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر الذكاء الاصطناعي بأبعاده (النظم الخبيرة، الشبكة العصبية الاصطناعية، الوكلاء الأذكياء، الخوارزميات الجينية، التعلم التلقائي) على تخفيض التكاليف في الشركات الصناعية الأردنية. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي. وتكونت العينة من 168 استبانة صالحة للتحليل من أصل 186 استبانة وُزعت على الشركات الصناعية المدرجة في بورصة عمان. وتوصلت نتائج الدراسة إلى وجود أثر للذكاء الاصطناعي بجميع أبعاده في تخفيض التكاليف، وكان الأثر الأكبر لُبعد النظم الخبيرة، يليه بُعد الخوارزميات الجينية، وأقل تأثير لُبعد التعلم التلقائي. وأوصت الدراسة بتعزيز البنية التحتية الرقمية كالذكاء الاصطناعي ومتابعة التقنيات الحديثة للمساهمة في الابتكار والإبداع الرقمي، وزيادة الاهتمام بتشغيل الوكيل الذكي كبديل للوكلاء البشريين مما يُخفض تكلفة العمليات.

❖ 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.

❖ دراسة (الحباري، 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر تطبيق نظام التكاليف المبني على الأنشطة بأبعاده (تحديد الأنشطة، محركات التكلفة، تخصيص التكاليف، تحليل الأنشطة) على الأداء المالي والتشغيلي والقدرة التنافسية في قطاع صناعة الأدوية الأردني. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي ودراسة الحالة. وتكونت العينة من 112 مديراً ومحاسباً في شركات صناعة الأدوية الأردنية المساهمة العامة. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تطبيق نظام التكاليف المبني على الأنشطة يُسهم في تحسين إدارة الموارد وخفض التكاليف التشغيلية بنسبة تصل إلى 14%، وتعزيز الأداء المالي والقدرة التنافسية للشركات. وأوصت الدراسة بضرورة تطبيق نظام التكاليف المبني على الأنشطة في قطاع صناعة الأدوية وتوفير البنية التحتية اللازمة لذلك.

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.

❖ دراسة (Henderson & Clark, 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على اتجاهات صناعة التصنيع بأبعادها (الكفاءة التشغيلية، خفض التكاليف، زيادة الإيرادات، المصانع الذكية، الميٹافيرس الصناعي) على تحسين الأداء المالي والتشغيلي لشركات التصنيع. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي والمسح الميداني. وتكونت العينة من 875 مديراً تنفيذياً في شركات التصنيع الأمريكية والعالمية. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن الاستفادة من نهج المصانع الذكية والميٹافيرس الصناعي يُمكن أن يُحسن الكفاءة التشغيلية بنسبة 25% ويُخفض التكاليف بنسبة

18%، وأن الأتمتة تُشهد تقدماً غير مسبوق يُعزز الدقة والسرعة مع خفض التكاليف التشغيلية. وأوصت الدراسة بتسريع تبني التقنيات الرقمية والأتمتة في قطاع التصنيع والاستثمار في تدريب القوى العاملة على المهارات الجديدة.

❖ دراسة (Johnson, Smith & Williams, 2025)

هدفت الدراسة إلى التعرف على تقنيات خفض التكاليف بأبعادها (التنبؤ بالطلب باستخدام الذكاء الاصطناعي، تحسين المخزون، إدارة سلسلة التوريد، الأتمتة) على تحقيق الكفاءة التشغيلية ومعالجة نقاط الضعف النظامية في الشركات الأمريكية. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي ومراجعة الأدبيات المنهجية. وتكونت العينة من 124 دراسة تجريبية ونظرية حول خفض التكاليف في قطاعات التصنيع والخدمات الأمريكية. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن الشركات التي تُطبق التنبؤ بالطلب باستخدام الذكاء الاصطناعي وتحسين المخزون يمكنها خفض التكاليف التشغيلية بنسبة تتراوح بين 10% و 20%، وأن معالجة قضايا سلسلة التوريد تُعد عاملاً حاسماً في تحقيق الكفاءة التشغيلية. وأوصت الدراسة بتبني التقنيات المتقدمة في إدارة سلسلة التوريد والتنبؤ بالطلب وتعزيز المرونة في مواجهة الاضطرابات.

8.1 الفجوة البحثية

من حيث الهدف والأبعاد: تتفق الدراسة الحالية مع معظم الدراسات السابقة في سعيها للكشف عن العلاقة بين إدارة الطاقة والأداء التشغيلي والمالي للمنشآت الصناعية، حيث هدفت دراسة (بوزريع وسراج، 2022) إلى التعرف على واقع ترشيد استهلاك الطاقة وأثره على التنمية المستدامة، كما هدفت دراسة (Sudhakaran et al., 2023) إلى استكشاف مسارات كفاءة الطاقة لإزالة الكربون الصناعي، بينما ركزت دراسة (السيد، 2023) على أثر التصنيع الرشيق على خفض التكاليف. إلا أن الدراسة الحالية تختلف عن الدراسات السابقة في تناولها المباشر للعلاقة بين إدارة الطاقة بأبعادها المتكاملة (التخطيط الطاقوي، المراقبة والتحكم، الصيانة الوقائية، التقنيات الحديثة، التدريب والتوعية) وخفض التكاليف التشغيلية بشكل محدد، في حين تناولت أغلب الدراسات السابقة كل متغير بشكل منفصل أو ربطته بمتغيرات أخرى كالاستدامة البيئية أو الأداء المالي الشامل دون التركيز الدقيق على التكاليف التشغيلية كمتغير تابع رئيسي.

من حيث المنهج: اتفقت الدراسة الحالية مع غالبية الدراسات السابقة في استخدام المنهج الوصفي التحليلي كمنهج رئيسي للبحث، حيث استخدمته دراسات (البغدادى، 2023) و(الشمري، 2023)

و(Henderson & Clark, 2024)، كما اتفقت في الاعتماد على الاستبانة كأداة رئيسية لجمع البيانات الأولية كما في دراسة (المطيري، 2022) التي وزعت استباناتها على المنشآت الصناعية الخليجية. غير أن الدراسة الحالية تتميز بتبني منهج دراسة ميدانية تطبيقية متعمقة في بيئة صناعية محددة وقطاع متخصص، مما يُتيح الحصول على نتائج أكثر دقة وتفصيلاً مقارنة بالدراسات التي اعتمدت على المراجعات النظرية أو المسوحات الواسعة النطاق، كما تجمع بين الأساليب الكمية والنوعية لتحقيق فهم شامل للظاهرة المدروسة.

من حيث بيئة التطبيق: تتمثل الفجوة البحثية الأبرز في بيئة التطبيق، حيث طُبقت الدراسات السابقة في بيانات متنوعة شملت: مصانع الإسمنت في الجزائر (بوزريع وسراج، 2022)، والشركات الصناعية الأردنية (الشمري، 2023)، وشركات تصنيع الأغذية السعودية (السيد، 2023)، وقطاع صناعة الأدوية (الحباري، 2024)، والمنشآت الصناعية الخليجية (المطيري، 2022)، فضلاً عن دراسات دولية شملت القطاع الصناعي الأمريكي والأوروبي والآسيوي. إلا أنه لم تُجر أي دراسة سابقة - في حدود علم الباحث - تناولت بشكل مباشر أثر إدارة الطاقة على خفض التكاليف التشغيلية في قطاع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية تحديداً، رغم الأهمية الاستراتيجية لهذا القطاع في الاقتصاد السعودي وكثافة استهلاكه للطاقة. وبذلك تأتي الدراسة الحالية لسد هذه الفجوة من خلال تطبيقها على مصانع البتروكيماويات بنبع، والتي تُعد من أكبر المجمعات الصناعية في المنطقة وأكثرها استهلاكاً للطاقة، مما يُضفي على الدراسة قيمة علمية وعملية مضافة تُثري الأدبيات العربية في هذا المجال وتُقدم توصيات قابلة للتطبيق في سياق محلي متخصص.

9.1 المنطلقات النظرية للدراسة:

أولاً: مفهوم إدارة الطاقة

تُعَد 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 عرّفها 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 (بودريع 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 تتربط فيما بينها لتحقيق الأهداف المنشودة:

البعد 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 البعد 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، ويوجّه 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 تُمكن المنظمات من تحديد مواطن الهدر بدقة واتخاذ الإجراءات التصحيحية الفورية، مما يُحقق وفورات طاغوية 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 المتهاكة قبل تعطلها، فضلاً عن تحديث المعدات القديمة بأخرى أكثر كفاءة. وقد أكد (البغدادي، 2023) أن إهمال الصيانة الوقائية في مصانع البتروكيماويات يؤدي 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 (بوزريع وسراج، 2022) أن

تحسين كفاءة استخدام الطاقة يُسهم في حماية الموارد الطبيعية وتقليل البصمة الكربونية للأنشطة الصناعية. ومن الناحية التشغيلية، تُحسن 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 ويُحسن 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 يُمكن خفض التكاليف للمنظمات من توجيه الموارد المالية المُوقرة 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، ويُساهم في تحسين الأداء المالي للمنشآت الصناعية السعودية.

10.1 المنهجية وطرق البحث:

ستتبنى الدراسة الحالية المنهج الوصفي التحليلي الذي يُعدّ الأنسب لتحقيق أهدافها؛ إذ سيُستخدم هذا المنهج في وصف واقع تطبيق إدارة الطاقة بأبعادها الثلاثة (التخطيط الطاقوي، أنظمة المراقبة والتحكم، الصيانة الوقائية للمعدات) في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية، فضلاً عن تحليل العلاقة بين هذه الأبعاد وخفض التكاليف التشغيلية. وسيُمكن هذا المنهج الباحث من جمع البيانات الكمية والنوعية اللازمة لاختبار فرضيات الدراسة، وتحديد طبيعة العلاقة ودرجتها بين المتغير المستقل (إدارة الطاقة) والمتغير التابع (خفض التكاليف التشغيلية)، مع الأخذ في الاعتبار المتغيرات الديموغرافية المؤثرة.

ستسير الدراسة وفق منهجية علمية منظمة تبدأ بمراجعة الأدبيات والدراسات السابقة لبناء الإطار النظري، ثم تطوير أداة الدراسة (الاستبانة) وتحكيمها من قبل المختصين، يليها تحديد مجتمع الدراسة واختيار العينة الملائمة، ومن ثم توزيع الاستبانة وجمع البيانات وتحليلها باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة. وستُختتم الدراسة بتفسير النتائج في ضوء الإطار النظري والدراسات السابقة، وتقديم التوصيات والمقترحات العملية الموجهة لصناع القرار في قطاع البتروكيماويات بالمملكة العربية السعودية.

11.1 مجتمع وعينة الدراسة

سيُتكون مجتمع الدراسة من جميع العاملين في المستويات الإدارية (العليا والوسطى والتنفيذية) في شركات ومصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية التابعة للهيئة الملكية للجبيل وينبع، والتي تضم عدداً من الشركات الكبرى منها: شركة ينبع الوطنية للبتروكيماويات (ينساب) بعدد موظفين يقارب (985) موظفاً، وشركة ينبع السعودية للبتروكيماويات (ينبت)، وشركة الفارابي للبتروكيماويات، وشركة صدف للبتروكيماويات فرع ينبع، إضافة إلى المصانع التابعة لشركة سابك في المنطقة. ويُقدّر إجمالي مجتمع الدراسة بحوالي (3,500) موظف يعملون في الإدارات ذات العلاقة بإدارة الطاقة والعمليات التشغيلية والصيانة والتخطيط والشؤون المالية.

ستُختار عينة الدراسة بالطريقة العشوائية الطبقية لضمان تمثيل جميع فئات مجتمع الدراسة، وسيُحدد حجم العينة وفقاً لجدول (Krejcie & Morgan, 1970) لتحديد حجم العينات؛ إذ سيبلغ الحد الأدنى للعينة المطلوبة (346) مفردة من مجتمع قوامه (3,500) فرد عند مستوى ثقة (95%) وهامش خطأ (5%). وستستهدف الدراسة توزيع (400) استبانة على العاملين في الإدارات المعنية (إدارة الطاقة، إدارة العمليات، إدارة الصيانة، الإدارة المالية، إدارة التخطيط) لضمان الحصول على عدد كافٍ من الاستبانات الصالحة للتحليل الإحصائي، مع مراعاة التوزيع النسبي للعينة حسب حجم كل شركة ونوع الإدارة والمستوى الوظيفي.

12.1 مصادر جمع البيانات

ستعتمد الدراسة على نوعين رئيسيين من مصادر البيانات:

- ❖ **المصادر الأولية:** تتمثل في البيانات الميدانية التي سيتم جمعها من خلال استبانة مُصممة خصيصاً لأغراض الدراسة، وستوزع على أفراد عينة الدراسة من العاملين في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية. وستُصمم الاستبانة وفق مقياس ليكرت الخماسي لقياس اتجاهات المستجيبين نحو أبعاد إدارة الطاقة وأثرها على خفض التكاليف التشغيلية.
- ❖ **المصادر الثانوية:** تشمل الكتب والمراجع العلمية المتخصصة، والرسائل الجامعية (ماجستير ودكتوراه)، والدوريات والمجلات العلمية المحكمة العربية والأجنبية، والتقارير السنوية للشركات محل الدراسة، وتقارير الهيئة الملكية للجبيل وينبع، وتقارير المركز السعودي لكفاءة الطاقة (SEEC)، وتقارير منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)، والوكالة الدولية للطاقة (IEA)، إضافة إلى قواعد البيانات الإلكترونية (مثل) دار المنظومة، ScienceDirect، MDPI، ResearchGate).

13.1 الأساليب الإحصائية المستخدمة

ستُستخدم مجموعة من الأساليب الإحصائية الوصفية والاستدلالية لتحليل البيانات باستخدام برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS)، وتشمل:

أ) الأساليب الوصفية:

- ❖ التكرارات والنسب المئوية لوصف خصائص عينة الدراسة.

❖ المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لتحديد اتجاهات إجابات أفراد العينة.

ب) أساليب اختبار الصدق والثبات:

❖ معامل ارتباط بيرسون لقياس صدق الاتساق الداخلي.

❖ معامل ألفا كرونباخ لقياس ثبات أداة الدراسة.

ج) الأساليب الاستدلالية:

❖ اختبار (t) للعينة الواحدة (One-Sample t-Test) لاختبار دلالة الفروق.

❖ تحليل الانحدار البسيط (Simple Regression) لقياس أثر كل بُعد من أبعاد إدارة الطاقة على خفض التكاليف التشغيلية.

❖ تحليل الانحدار المتعدد (Multiple Regression) لقياس الأثر المشترك لأبعاد إدارة الطاقة على خفض التكاليف التشغيلية.

14.1 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: ستطبق 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: ستنفذ الدراسة الميدانية خلال الفصل الدراسي الأول/الثاني من العام الجامعي 1447/1448هـ (2026م).

الفصل الثاني: الإطار النظري للدراسة

المبحث الأول: إدارة الطاقة

1.1.2 تمهيد

تُعَدُّ إدارة الطاقة من المداخل الإدارية والتنظيمية التي اكتسبت أهمية متزايدة في السياقات الصناعية المعاصرة، لا سيما في ظل التحولات الاقتصادية العالمية التي فرضت على المنظمات الصناعية ضرورة إعادة النظر في أنماط استهلاكها للطاقة وآليات التحكم فيها. وقد أسهمت التحديات المرتبطة بارتفاع أسعار مصادر الطاقة التقليدية، إلى جانب المتطلبات البيئية المتصاعدة والتشريعات الدولية ذات الصلة بالاستدامة، في تحويل إدارة الطاقة من مجرد وظيفة فنية هامشية إلى محور استراتيجي يرتبط ارتباطاً وثيقاً بالقدرة التنافسية للمنظمات الصناعية واستمراريتها. وتبرز هذه الأهمية بشكل خاص في القطاعات كثيفة الاستهلاك للطاقة كصناعة البتروكيماويات، حيث تمثل تكاليف الطاقة نسبة جوهرية من هيكل التكاليف الإجمالي، مما يجعل من الإدارة الرشيدة للطاقة مدخلاً حاسماً لتحقيق الكفاءة التشغيلية وخفض التكاليف.

ويسعى هذا المبحث إلى تقديم إطار نظري متكامل لمفهوم إدارة الطاقة من خلال استعراض التعريفات المتعددة التي قدمها الباحثون، وتحليل أهميتها في السياق الصناعي، واستجلاء أهدافها الجوهرية، فضلاً عن تحديد أبعادها الرئيسية التي تبنتها الدراسة الحالية، وذلك بما يتسق مع طبيعة قطاع البتروكيماويات ومتطلباته التشغيلية الخاصة.

2.1.2 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 أثارى 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 بتأكيدِه 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 بودريغ 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.

3.1.2 أهمية إدارة الطاقة

تحتل إدارة الطاقة مكانة محورية في المنظمات الصناعية المعاصرة، وتتعاظم هذه المكانة بشكل خاص في الصناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة كصناعة البتروكيماويات، حيث تُشكّل الطاقة مدخلاً إنتاجياً رئيسياً يؤثر تأثيراً جوهرياً في هيكل التكاليف والقدرة التنافسية والأداء البيئي. وتتنبثق أهمية إدارة الطاقة من تشابك عوامل اقتصادية وبيئية وتنظيمية وتنافسية تفرض على المنظمات الصناعية تبني مقاربات منهجية ومتقدمة في التعامل مع ملف الطاقة.

ويُشير Sudhakaran et al. (2023) إلى أن أهمية إدارة الطاقة في السياق الصناعي تتجلى في عدة أبعاد جوهرية: أولاً، تمثل كفاءة الطاقة الركيزة التأسيسية لأي جهود حقيقية نحو إزالة الكربون الصناعي، إذ لا يمكن تحقيق أهداف الاستدامة البيئية دون معالجة أنماط الاستهلاك الطاقوي غير الكفؤة. ثانياً، تسهم

إدارة الطاقة الفعّالة في تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة المتقلبة الأسعار، مما يمنح المنظمة قدراً أكبر من الاستقرار المالي والتخطيطي. ثالثاً، تُعدّ إدارة الطاقة محركاً للابتكار التكنولوجي، حيث تدفع المنظمات نحو تبني تقنيات أكثر تطوراً وكفاءة، مما ينعكس إيجاباً على مجمل العمليات التشغيلية.

ويرى الزهراني (2023) أن أهمية إدارة الطاقة في القطاع الصناعي السعودي تنبع من اعتبارات متعددة المستويات: أولاً، على المستوى الاقتصادي الكلي، تسهم كفاءة الطاقة في تقليل كثافة الاستهلاك الطاقوي في الناتج المحلي الإجمالي، مما يحرر موارد يمكن توجيهها لأغراض تنموية أخرى. ثانياً، على مستوى المنشأة الصناعية، تؤدي الإدارة الرشيدة للطاقة إلى خفض ملموس في التكاليف التشغيلية يعزز الهوامش الربحية والقدرة على المنافسة في الأسواق الدولية. ثالثاً، على المستوى البيئي، تحقق كفاءة الطاقة خفضاً في الانبعاثات الكربونية بما يتوافق مع الالتزامات البيئية الوطنية والدولية. رابعاً، على المستوى الاستراتيجي، تدعم إدارة الطاقة أهداف التنويع الاقتصادي والتحول نحو اقتصاد أقل اعتماداً على الموارد الناضبة.

ومن زاوية أخرى، يؤكد Zhang et al. (2023) أن أهمية إدارة الطاقة في صناعات البتروكيماويات تحديداً تكتسب بُعداً خاصاً نظراً لطبيعة هذه الصناعات التي تتسم بكثافة طاquية عالية وعمليات إنتاجية معقدة ومستمرة. ففي هذا القطاع، يمكن لتحسين كفاءة الطاقة بنسب محدودة أن ينتج وفورات مالية ضخمة نظراً لحجم الاستهلاك الطاقوي المطلق، كما أن استقرار إمدادات الطاقة وجودتها يرتبط ارتباطاً مباشراً بسلامة العمليات الإنتاجية وجودة المنتجات النهائية.

ويضيف البغدادي (2023) بُعداً مهماً لأهمية إدارة الطاقة في سياق صناعة البتروكيماويات، مشيراً إلى أن تحسين أداء هذه الصناعة يرتبط بشكل وثيق بقدرتها على إدارة مدخلاتها الطاقوية بكفاءة عالية، خاصة في ظل المنافسة الدولية المتصاعدة والتحديات في أسواق الطاقة العالمية التي تفرض ضغوطاً مستمرة على هوامش الربحية.

كما تؤكد المطيري (2022) أن أهمية إدارة الطاقة تتعزز من خلال تبني المعايير الدولية كـ ISO 50001، الذي يوفر إطاراً مؤسسياً يضمن استمرارية جهود تحسين الأداء الطاقوي ويحوّلها من مبادرات فردية أو مؤقتة إلى ممارسات مؤسسية راسخة. وتتجلى هذه الأهمية في قدرة الأنظمة المعيارية على توحيد الممارسات وقياس الأداء ومقارنته، مما يُمكن المنظمة من تحديد فجوات الكفاءة ومعالجتها بشكل منهجي.

ويُبرز Li et al. (2021) أهمية إدارة الطاقة من منظور التكيف والمرونة، حيث تمكّن الأنظمة التكيفية لإدارة الطاقة المنظمات من التعامل بمرونة مع التقلبات في أسعار الطاقة وأحمال الإنتاج، مما يعزز من قدرتها على الحفاظ على مستويات أداء مستقرة في ظل بيئة تشغيلية متغيرة. وتتضح هذه الأهمية بشكل خاص في الصناعات التي تتطلب استمرارية تشغيلية عالية كصناعة البتروكيماويات.

ومن منظور اقتصادي كلي، يُشير الجبوري والفتلاوي (2022) إلى أن الإدارة الفعّالة للطاقة تتجاوز في أهميتها حدود المنشأة الفردية لتمتد إلى المستوى الوطني، حيث ترتبط بأمن الطاقة واستدامة الموارد وتحقيق أهداف التنمية الشاملة. كما تُشير حلالة وطرايش (2024) إلى أن الانتقال نحو إدارة مستدامة للطاقة يُعدّ ضرورة بيئية واقتصادية في آن واحد، نظراً لارتباطه الوثيق بالبُعد البيئي للتنمية المستدامة.

وبذلك يتضح أن أهمية إدارة الطاقة تتبلور في مستويات متعددة ومتداخلة، تبدأ من المستوى التشغيلي للمنشأة وصولاً إلى المستوى الاستراتيجي الوطني، مما يؤكد ضرورة تبني مقاربة شاملة ومنهجية في التعامل مع هذا الملف الحيوي.

4.1.2 أهداف إدارة الطاقة

تتعدد الأهداف التي تسعى إدارة الطاقة إلى تحقيقها في المنظمات الصناعية، وتتراوح هذه الأهداف بين ما هو تشغيلي مباشر وما هو استراتيجي بعيد المدى. وقد حدد الباحثون مجموعة من الأهداف الجوهرية التي تشكّل الغايات الأساسية لنظم إدارة الطاقة في السياقات الصناعية المختلفة.

ويُحدد Thollander and Palm (2022) ثلاثة أهداف رئيسية لأنظمة إدارة الطاقة الصناعية: أولاً، تحقيق التحسين المستمر في الأداء الطاقوي من خلال دورات منتظمة من القياس والتحليل والتطوير. ثانياً، ترسيخ ثقافة تنظيمية داعمة لكفاءة الطاقة عبر جميع المستويات الإدارية والتشغيلية. ثالثاً، ضمان التوافق بين الأهداف الطاقوية والأهداف الاستراتيجية الشاملة للمنظمة، بحيث لا تكون إدارة الطاقة نشاطاً معزولاً بل جزءاً عضوياً من المنظومة الإدارية الكلية.

ويُضيف Sudhakaran et al. (2023) أبعاداً أخرى لأهداف إدارة الطاقة تتمثل في: تقليل الكثافة الطاقوية للعمليات الإنتاجية، وخفض الانبعاثات الكربونية المرتبطة باستهلاك الطاقة، وتعزيز القدرة التنافسية للمنشأة من خلال خفض تكاليف الإنتاج المرتبطة بالطاقة، فضلاً عن تمكين المنظمة من الوفاء بالمتطلبات التنظيمية والبيئية المتزايدة الصرامة.

ومن جانبه، يُحدد الزهراني (2023) أهداف إدارة الطاقة في القطاع الصناعي السعودي في عدة محاور: خفض استهلاك الطاقة لكل وحدة إنتاجية، وتحسين العائد الاقتصادي من الاستثمارات الطاقوية، ودعم التوجهات الوطنية نحو الاستدامة وتنويع مصادر الطاقة، وتعزيز تنافسية المنتجات الصناعية السعودية في الأسواق العالمية من خلال خفض تكاليف الإنتاج.

كما يُشير (Mahdi et al. (2024 إلى أن إدارة الطاقة تستهدف تحقيق الأمثلية في التشغيل من خلال الموازنة بين متطلبات الإنتاج والقيود الطاقوية المتاحة، وتقليل تكاليف التشغيل المرتبطة بالطاقة دون المساس بجودة العمليات الإنتاجية أو استمرارياتها.

ويؤكد (Dey et al. (2023 أن من أهداف إدارة الطاقة المعاصرة تحقيق التشغيل النظيف والاقتصادي في آن واحد، من خلال إدارة الطلب على الطاقة بما يوازن بين الكفاءة الاقتصادية والمسؤولية البيئية، وهو ما يُعرف بالتشغيل المستدام الذي يُرضي الأطراف المعنية المتعددة.

أما المطيري (2022) فتُحدد أهداف إدارة الطاقة وفق إطار ISO 50001 في: وضع سياسة طاقوية واضحة ومعلنة، وتحديد أهداف ومؤشرات أداء طاقوية قابلة للقياس، وتنفيذ خطط عمل لتحقيق هذه الأهداف، ومراجعة الأداء بشكل دوري لضمان التحسين المستمر، وتوثيق أفضل الممارسات ونشرها عبر المنظمة.

وعند النظر إلى هذه الأهداف بشكل تكاملي، يمكن تصنيفها في ثلاث فئات رئيسية: أهداف اقتصادية تتمحور حول خفض التكاليف وتحسين الكفاءة الإنتاجية، وأهداف بيئية تتعلق بتقليل البصمة الكربونية والامتثال للمعايير البيئية، وأهداف تنظيمية تستهدف ترسيخ ممارسات مؤسسية فعّالة وبناء قدرات بشرية وتقنية في مجال إدارة الطاقة.

5.1.2 أبعاد إدارة الطاقة

تم تحديد أبعاد إدارة الطاقة في هذه الدراسة بناءً على مراجعة شاملة للأدبيات ذات الصلة، لا سيما ما قدمه كل من (Thollander and Palm (2022 في إطار أنظمة إدارة الطاقة الصناعية، و (Zhang et al. (2023 في سياق ممارسات إدارة الطاقة في صناعات البتروكيماويات، والمطيري (2022 في إطار معيار ISO 50001 وتطبيقاته في المنشآت الصناعية الخليجية، والزهراني (2023 في سياق كفاءة الطاقة بالقطاع الصناعي السعودي. وقد أفضت هذه المراجعة إلى تحديد ثلاثة أبعاد رئيسية تمثل المكونات

الجوهرية لإدارة الطاقة في مصانع البتروكيماويات، وهي: التخطيط الطاقوي، وأنظمة المراقبة والتحكم، والصيانة الوقائية للمعدات.

البُعد الأول: التخطيط الطاقوي

يُمثل التخطيط الطاقوي الركيزة الأولى والأساسية لأي نظام فعّال لإدارة الطاقة، إذ يُشكّل الإطار التوجيهي الذي تنبثق منه جميع الأنشطة والقرارات المتعلقة بالطاقة داخل المنظمة الصناعية. ويتضمن التخطيط الطاقوي عمليات تحديد الأهداف الطاقوية وصياغة السياسات وتخصيص الموارد ووضع البرامج الزمنية اللازمة لتحقيق مستويات الأداء الطاقوي المستهدفة.

ويُوضح (Thollander and Palm (2022) أن التخطيط الطاقوي يتجاوز مجرد وضع الأهداف الكمية لاستهلاك الطاقة، ليشمل عملية تحليلية شاملة تبدأ بتقييم الوضع الراهن للاستهلاك الطاقوي من خلال المراجعات الطاقوية التفصيلية، ثم تحديد خطوط الأساس الطاقوية التي يُقاس عليها التحسن، وصولاً إلى تصميم خطط العمل التي تحدد التدخلات المطلوبة والجداول الزمنية والمسؤوليات والموارد اللازمة. ويؤكد أن فعالية التخطيط الطاقوي تعتمد بشكل جوهري على جودة البيانات المتاحة ودقة التحليل واستناده إلى فهم عميق للعمليات الإنتاجية وأنماط استهلاك الطاقة فيها.

ويُضيف الزهراني (2023) أن التخطيط الطاقوي في المنشآت الصناعية السعودية يتطلب مراعاة خصوصيات البيئة المحلية، بما يشمل الظروف المناخية التي تؤثر في أحمال التبريد والتكييف، وطبيعة مزيج الطاقة المتاح، والسياسات الحكومية ذات الصلة بأسعار الطاقة والدعم وبرامج كفاءة الطاقة. ويرتبط التخطيط الطاقوي الفعّال في هذا السياق بالقدرة على المواءمة بين متطلبات الإنتاج والقيود الطاقوية والأهداف الاستراتيجية الوطنية.

ومن منظور تطبيقي، يُشير (Zhang et al. (2023 إلى أن التخطيط الطاقوي في صناعات البتروكيماويات يتسم بتعقيد خاص نظراً لتعدد العمليات الإنتاجية وتداخلها وارتفاع درجات الحرارة والضغوط المستخدمة، مما يستلزم تخطيطاً دقيقاً يأخذ في الاعتبار التكامل الحراري بين الوحدات الإنتاجية المختلفة وإمكانيات استرداد الطاقة الحرارية المهدرة. ويتطلب التخطيط في هذا القطاع توظيف أدوات نمذجة ومحاكاة متقدمة لتقدير الاستهلاك المتوقع وتحديد فرص التحسين.

كما تُبرز المطيري (2022) أهمية التكامل بين التخطيط الطاقوي والتخطيط الاستراتيجي الشامل للمنظمة، حيث ينبغي أن تتسق الأهداف الطاقوية مع أهداف الإنتاج والجودة والسلامة والبيئة، وألا تُعامل كأهداف منفصلة أو متنافسة. وتؤكد أن التخطيط الطاقوي وفق معيار ISO 50001 يتبع منهجية دورية (التخطيط - التنفيذ - الفحص - التصحيح) تضمن التحسين المستمر والتكيف مع المتغيرات.

ويمكن القول إن التخطيط الطاقوي يشمل عدة عناصر فرعية تتكامل فيما بينها: تحليل الاستهلاك الطاقوي الحالي وتحديد مصادر الهدر، ووضع أهداف طاقوية قابلة للقياس ومحددة زمنياً، وتصميم مزيج الطاقة الأمثل، وتخطيط الاستثمارات في مشاريع كفاءة الطاقة، وتحديد مؤشرات الأداء الطاقوي الرئيسية، فضلاً عن وضع خطط طوارئ لمواجهة اضطرابات إمدادات الطاقة.

البُعد الثاني: أنظمة المراقبة والتحكم

تُشكل أنظمة المراقبة والتحكم البُعد التنفيذي الحيوي لإدارة الطاقة، إذ تُترجم الخطط والأهداف الطاقوية إلى ممارسات تشغيلية فعلية من خلال المتابعة المستمرة لأنماط الاستهلاك والتدخل الآني لتصحيح الانحرافات. وتعتمد هذه الأنظمة على البنية التحتية التكنولوجية المتمثلة في أجهزة القياس والاستشعار وبرامج التحليل ومنصات التحكم الآلي التي تُمكن من رصد الاستهلاك الطاقوي في الوقت الحقيقي واتخاذ إجراءات تصحيحية فورية.

ويُوضح (Mahdi et al. 2024) أن أنظمة المراقبة والتحكم في الطاقة تقوم على مبدأ التحسين المستمر من خلال خوارزميات ذكية قادرة على تحليل البيانات الطاقوية المتدفقة في الوقت الحقيقي، وتحديد الأنماط غير الطبيعية في الاستهلاك، واقتراح أو تنفيذ تعديلات تشغيلية تحقق الأمثلية في استخدام الطاقة. ويتضمن ذلك مراقبة الأحمال الطاقوية وتوزيعها بين الوحدات الإنتاجية المختلفة بما يحقق أعلى كفاءة ممكنة.

ويُشير (Dey et al. 2023) إلى أن أنظمة إدارة الطاقة المعاصرة تعتمد على برامج الاستجابة للطلب التي تمكّن المنشأة من تعديل أنماط استهلاكها وفقاً لظروف العرض والتكلفة، مما يساهم في تحقيق التشغيل الاقتصادي الأمثل. وتتطلب هذه الأنظمة بنية تحتية متقدمة للقياس والاتصالات تتيح التواصل المستمر بين مراكز التحكم ونقاط الاستهلاك المتعددة.

ويؤكد (Sudhakaran et al. (2023) أن فعالية أنظمة المراقبة والتحكم ترتبط بقدرتها على تقديم معلومات دقيقة ومحدثة لصناع القرار، مما يُمكنهم من اتخاذ قرارات مستنيرة بشأن تخصيص الموارد الطاقوية وجدولة العمليات الإنتاجية. وتتضمن هذه الأنظمة عادة مكونات متعددة تشمل: العدادات الذكية، وأنظمة SCADA للتحكم الإشرافي واكتساب البيانات، وبرمجيات إدارة الطاقة، ولوحات المعلومات التفاعلية التي تعرض مؤشرات الأداء الطاقوي بشكل مرئي وواضح.

وتُبرز المطيري (2022) أن أنظمة المراقبة والتحكم في الطاقة تُمثل أداة أساسية لتحقيق متطلبات معيار ISO 50001 المتعلقة بقياس الأداء الطاقوي ومتابعته، حيث تُوفر البيانات الموضوعية اللازمة لتقييم مدى تحقق الأهداف الطاقوية وتحديد المجالات التي تحتاج إلى مزيد من التحسين. وتسهم هذه الأنظمة في تحويل إدارة الطاقة من نشاط قائم على التقدير والحدس إلى ممارسة مبنية على البيانات والحقائق.

وفي سياق صناعات البتروكيماويات، يُشير (Zhang et al. (2023) إلى أن أنظمة المراقبة والتحكم تكتسب أهمية مضاعفة نظراً لتعقيد العمليات الإنتاجية وحساسيتها، حيث يُمكن لأي انحراف في معايير التشغيل أن يؤدي إلى هدر طاقوي كبير أو حتى مخاطر تتعلق بالسلامة. ولذلك تتطلب هذه الصناعات أنظمة مراقبة عالية الدقة وسرعة استجابة فائقة قادرة على التعامل مع المتغيرات التشغيلية في الوقت الحقيقي.

ويمكن تلخيص العناصر الفرعية لأنظمة المراقبة والتحكم في: القياس المستمر لاستهلاك الطاقة عند نقاط الاستخدام المختلفة، والتحليل الآني للبيانات الطاقوية لاكتشاف الانحرافات، والتحكم الآلي في معايير التشغيل لتحقيق الكفاءة المثلى، وإصدار التنبيهات والتقارير الدورية حول الأداء الطاقوي، فضلاً عن تكامل أنظمة الطاقة مع أنظمة التشغيل والإنتاج الأخرى.

البُعد الثالث: الصيانة الوقائية للمعدات

تُعَد الصيانة الوقائية للمعدات البُعد الثالث من أبعاد إدارة الطاقة، وهي تمثل الحلقة المادية التي تربط بين الجوانب التخطيطية والرقابية من جهة والأداء الفعلي للمعدات والأنظمة الطاقوية من جهة أخرى. وتقوم فلسفة الصيانة الوقائية على مبدأ التدخل المبكر والمنظم قبل حدوث الأعطال، بهدف الحفاظ على كفاءة

المعدات عند مستوياتها التصميمية وتجنب التدهور التدريجي في الأداء الطاقوي الذي يرافق عادة إهمال الصيانة.

ويُوضح (Thollander and Palm (2022 أن الصيانة الوقائية تُشكّل عنصراً محورياً في منظومة إدارة الطاقة الصناعية، حيث أن تدهور حالة المعدات يؤدي حتماً إلى زيادة في الاستهلاك الطاقوي لأداء نفس المهام الإنتاجية. ويُستدل على ذلك بأن المعدات التي تعمل بكفاءة منخفضة نتيجة التآكل أو عدم الضبط تستهلك طاقة إضافية تتراكم عبر الزمن لتشكل تكاليف باهظة. ولذلك تُعدّ الصيانة الوقائية استثماراً يحقق عوائد مباشرة في صورة وفورات طاقوية.

ويُبرز البغدادي (2023) أهمية الصيانة الوقائية في صناعة البتروكيماويات تحديداً، حيث تعمل المعدات في ظروف تشغيلية قاسية تتضمن درجات حرارة وضغوطاً عالية ومواد كيميائية حادة، مما يُسرّع من معدلات التآكل والتدهور ويجعل الصيانة المنتظمة ضرورة حتمية وليست خياراً. ويشير إلى أن التوقيات غير المخططة في هذه الصناعة لا تكلف فقط تكاليف الإصلاح المباشرة، بل تتضمن أيضاً تكاليف الطاقة المهدرة في عمليات إعادة التشغيل والوصول إلى حالة الاستقرار التشغيلي.

ويُشير (Li et al. (2021 إلى أن الصيانة الوقائية تسهم في إطالة العمر الافتراضي لمنظومات الطاقة والمعدات المرتبطة بها، مما يقلل من الحاجة إلى استثمارات رأسمالية متكررة في الاستبدال، ويحافظ على الأداء الطاقوي المثلى لفترات أطول. كما أن الصيانة الوقائية المبنية على التحليل التنبؤي تُمكن من جدولة التدخلات الصيانية في الأوقات الأقل تأثيراً على الإنتاج، مما يقلل من الفاقد التشغيلي.

وتؤكد المطيري (2022) أن معيار ISO 50001 يتضمن متطلبات صريحة تتعلق بصيانة المعدات ذات التأثير الجوهرى على الأداء الطاقوي، حيث يستلزم وضع برامج صيانة وقائية منتظمة لهذه المعدات ومتابعة تنفيذها وتوثيق نتائجها. ويعكس ذلك الإدراك بأن أي نظام لإدارة الطاقة لا يمكن أن يحقق أهدافه بمعزل عن ضمان سلامة المعدات وكفاءتها التشغيلية.

ومن الجدير بالذكر أن (Cardenas–Barron et al. (2024 يُشيرون إلى أن الأعطال الاحتمالية في أنظمة التصنيع تُشكّل مصدراً رئيسياً لارتفاع التكاليف التشغيلية، مما يُبرر الاستثمار في برامج الصيانة الوقائية التي تُقلل من احتمالية هذه الأعطال وتداعياتها. ويتقاطع هذا المنظور مع مفهوم الصيانة الوقائية

كأداة لإدارة الطاقة من حيث أن منع الأعطال يحافظ على كفاءة الاستهلاك الطاقوي ويتجنب الهدر المرتبط بالتشغيل في ظروف غير مثالية.

وتتضمن العناصر الفرعية للصيانة الوقائية في سياق إدارة الطاقة: الفحص الدوري المنتظم للمعدات ذات الاستهلاك الطاقوي العالي، ومعايرة أجهزة القياس والتحكم لضمان دقتها، وتنظيف وتشحيم المكونات الميكانيكية لتقليل الاحتكاك والفقد الطاقوي، وفحص العزل الحراري وإصلاح تسربات البخار والهواء المضغوط، فضلاً عن تحديث المعدات المتقادمة واستبدالها ببدايل أكثر كفاءة عند بلوغها نهاية عمرها الاقتصادي.

6.1.2 التخطيط الطاقوي والمواءمة الاستراتيجية

إن التخطيط الطاقوي لا يمكن النظر إليه بمعزل عن السياق الاستراتيجي الأوسع الذي تعمل فيه المنظمة الصناعية. وتتجلى هذه العلاقة التكاملية بين التخطيط الطاقوي والتوجه الاستراتيجي في عدة مستويات تتطلب تحليلاً معمقاً.

يُبرز Sudhakaran et al. (2023) أن كفاءة الطاقة لم تعد مجرد هدف تشغيلي محدود، بل تحولت إلى عنصر استراتيجي يؤثر في الموقع التنافسي للمنظمة واستدامتها بعيدة المدى. ويتطلب هذا التحول أن يكون التخطيط الطاقوي مدمجاً في عملية التخطيط الاستراتيجي الشامل، بحيث تُراعى الأبعاد الطاقوية عند اتخاذ القرارات المتعلقة بالتوسع الإنتاجي واختيار التكنولوجيا وتطوير المنتجات.

ويؤكد البغدادي (2023) أن صناعة البتروكيماويات تواجه تحديات هيكلية تتطلب رؤية استراتيجية طويلة المدى لإدارة الطاقة، تأخذ في الاعتبار التحولات في أسواق الطاقة العالمية والتوجهات نحو مصادر الطاقة البديلة والمتطلبات البيئية المتزايدة. ويرتبط نجاح التخطيط الطاقوي في هذا القطاع بقدرة المنظمة على استشراف المستقبل والتكيف المسبق مع المتغيرات المتوقعة.

ومن زاوية التكامل بين مصادر الطاقة، تُشير شعبان (2024) إلى أن التخطيط الطاقوي المعاصر يتطلب النظر في تنوع مصادر الطاقة المستخدمة، بما يشمل استكشاف إمكانيات دمج مصادر الطاقة المتجددة في المزيج الطاقوي للمنشآت الصناعية. ويمثل هذا التوجه فرصة لتحقيق استقلالية طاقوية أكبر وتقليل التعرض لتقلبات أسعار الطاقة التقليدية.

وفي السياق ذاته، يُشير علي ومحمد (2025) إلى أن نجاح مشاريع الطاقة المتجددة يرتبط بتوفر إطار تخطيطي متكامل يأخذ في الاعتبار الأبعاد البيئية والاجتماعية والتكنولوجية، وهو ما ينطبق أيضاً على التخطيط الطاقوي في المنشآت الصناعية التي تسعى لتبني حلول طاقوية مبتكرة.

ويُبرز هذا التحليل أن التخطيط الطاقوي الفعال يتطلب منظوراً زمنياً متعدد الآفاق: تخطيط قصير المدى يتعامل مع جدولة الأحمال اليومية وإدارة الذروة، وتخطيط متوسط المدى يتناول مشاريع التحسين والتطوير والاستثمارات الطاقوية، وتخطيط طويل المدى يرتبط بالتحويلات الاستراتيجية في مزيج الطاقة والتكنولوجيا.

7.1.2 التكامل بين أنظمة المراقبة والرقمنة الصناعية

يرتبط تطور أنظمة المراقبة والتحكم في الطاقة ارتباطاً وثيقاً بالتحويلات الرقمية التي يشهدها القطاع الصناعي. وقد أفرزت الثورة الصناعية الرابعة أدوات وتقنيات جديدة عززت من قدرات المراقبة والتحكم بشكل غير مسبوق.

يُشير رزق (2025) إلى أن تقنيات الثورة الصناعية الرابعة توفر إمكانيات متقدمة لترشيد التكاليف التشغيلية، ومن ضمنها تكاليف الطاقة، من خلال الأتمتة الذكية والتحليل التنبؤي وإنترنت الأشياء الصناعي. وتُمكن هذه التقنيات من جمع كميات هائلة من البيانات التشغيلية وتحليلها بشكل آني، مما يوفر رؤية شاملة ومحدّثة لحالة الاستهلاك الطاقوي ويُتيح التدخل الاستباقي.

ويؤكد الجبوري وآخرون (2025) أن تكامل الأنظمة الإلكترونية وإنترنت الأشياء يُسهم في خفض التكاليف التشغيلية من خلال أتمتة العمليات وتقليل الهدر وتحسين كفاءة استخدام الموارد. وينطبق هذا المبدأ بشكل مباشر على أنظمة مراقبة الطاقة والتحكم فيها، حيث يُمكن لأجهزة الاستشعار المتصلة عبر إنترنت الأشياء توفير بيانات لحظية عن أداء كل قطعة معدات ومستوى استهلاكها للطاقة.

ويُضيف غدير وآخرون (2024) أن أنظمة معالجة المعاملات وأنظمة المعلومات المتقدمة تُسهم في تحسين الكفاءة التشغيلية من خلال توفير بنية معلوماتية متكاملة تدعم اتخاذ القرارات المبنية على البيانات. وعند تطبيق هذا المبدأ على مجال الطاقة، تُصبح أنظمة المراقبة أدوات لإنتاج المعرفة الإدارية وليست مجرد أدوات قياس فنية.

كما يُبرز محمود (2025) أن حلول الذكاء الاصطناعي يمكن أن تعزز الرقابة على التكاليف والكفاءة التشغيلية من خلال التحليل التنبؤي والتعلم الآلي. وينعكس ذلك على أنظمة مراقبة الطاقة التي يمكن تعزيزها بخوارزميات ذكية قادرة على التنبؤ بأنماط الاستهلاك المستقبلية وتقديم توصيات استباقية لتحسين الكفاءة. إن هذا التكامل بين أنظمة المراقبة والرقمنة الصناعية يفتح آفاقاً واسعة لتحسين إدارة الطاقة، إلا أنه يتطلب في المقابل استثمارات كبيرة في البنية التحتية الرقمية والكوادر البشرية المؤهلة والأمن السيبراني، وهي تحديات ينبغي أن يعالجها التخطيط الطاقوي الشامل.

8.1.2 إدارة الطاقة والمعايير الدولية

شهد مجال إدارة الطاقة تحولاً نوعياً مع صدور المعايير الدولية المتخصصة التي وفّرت أطراً مرجعية موحدة لتصميم وتنفيذ وتقييم أنظمة إدارة الطاقة في المنظمات المختلفة. ويُعدّ معيار ISO 50001 أبرز هذه المعايير وأوسعها انتشاراً على المستوى العالمي.

تُفصّل المطيري (2022) متطلبات معيار ISO 50001 وتطبيقاته في المنشآت الصناعية الخليجية، مُبيّنةً أن هذا المعيار يقوم على منهجية التحسين المستمر (Plan-Do-Check-Act) ويتطلب من المنظمة وضع سياسة طاقوية تلتزم بها الإدارة العليا، وتحديد نطاق نظام إدارة الطاقة وحدوده، وإجراء مراجعة طاقوية شاملة لتحديد خط الأساس ومؤشرات الأداء، ثم وضع أهداف وبرامج عمل قابلة للقياس والمتابعة. ويسهم تبني هذا المعيار في إضفاء الطابع المؤسسي على إدارة الطاقة وضمان استدامة جهود التحسين بمعزل عن التغيرات في الأفراد أو الظروف.

ويشير Thollander and Palm (2022) إلى أن المعايير الدولية لإدارة الطاقة أسهمت في نقل هذا المجال من الممارسة غير المنتظمة إلى النظام المؤسسي المنضبط، حيث توفر هذه المعايير لغة مشتركة ومتطلبات واضحة يمكن تدقيقها والتحقق من الامتثال لها. كما أن الحصول على شهادة المعيار يُعدّ مؤشراً على جدية المنظمة في التعامل مع ملف الطاقة ويمنحها ميزة تنافسية في الأسواق التي تزداد فيها أهمية الاعتبارات البيئية.

ويُبرز الزهراني (2023) أن تبني المعايير الدولية لإدارة الطاقة في القطاع الصناعي السعودي يكتسب أهمية متزايدة في ظل التوجهات الوطنية نحو تحقيق رؤية المملكة 2030 التي تتضمن أهدافاً طموحة

لكفاءة الطاقة والاستدامة البيئية. ويُمثل الالتزام بهذه المعايير أداة لتحقيق التوافق بين الممارسات الصناعية والأهداف الاستراتيجية الوطنية.

9.1.2 التحديات المعاصرة لإدارة الطاقة في الصناعات البتروكيمياوية

تواجه إدارة الطاقة في قطاع البتروكيمياويات مجموعة من التحديات الخاصة التي تتبع من طبيعة هذه الصناعة وخصوصياتها التشغيلية. ويتطلب فهم هذه التحديات تحليلاً للسياق الذي تعمل فيه مصانع البتروكيمياويات والعوامل المؤثرة في أدائها الطاقوي.

يُشير البغدادي (2023) إلى أن صناعة البتروكيمياويات تتسم بتعقيد تقني عالٍ وتشابك بين العمليات الإنتاجية المختلفة، مما يجعل تحديد مصادر الهدر الطاقوي وفرص التحسين أمراً يتطلب خبرة فنية متقدمة وأدوات تحليل متطورة. كما أن الطبيعة المستمرة لعمليات الإنتاج في هذا القطاع تُقلل من مرونة التدخل وتزيد من تكاليف أي توقف غير مخطط له.

ومن جهة أخرى، يُلاحظ Zhang et al. (2023) أن صناعات البتروكيمياويات في الأسواق الآسيوية تواجه تحديات تتعلق بالتوفيق بين ضغوط المنافسة السعرية ومتطلبات الاستثمار في تقنيات كفاءة الطاقة، حيث قد يتردد صناع القرار في تخصيص موارد كبيرة لمشاريع تحسين الطاقة ذات فترات الاسترداد الطويلة رغم عوائدها المؤكدة على المدى البعيد.

وتُضيف ركاح (2023) بُعداً يتعلق بتأثير أسعار الطاقة غير المتجددة على الاقتصادات المعتمدة عليها، مما يُبرز التحدي المتمثل في التعرض لتقلبات الأسعار التي قد تُربك التخطيط الطاقوي وتؤثر في ربحية المنشأة. ويتطلب التعامل مع هذا التحدي بناء قدرات مؤسسية للإدارة الاستباقية للمخاطر الطاقوية.

كما يُشير السبعائي والبرواري (2023) إلى أن العلاقة بين مصادر الطاقة والنواتج الاقتصادية تتسم بالتعقيد، مما يفرض تحديات إضافية على التخطيط الطاقوي الذي يجب أن يأخذ في الاعتبار التغذية الراجعة بين القرارات الطاقوية ومخرجات الأداء الاقتصادي.

وعلى صعيد التحديات التنظيمية، يُلاحظ Thollander and Palm (2022) أن من أبرز العقبات التي تواجه إدارة الطاقة الصناعية: محدودية الوعي الإداري بأهمية كفاءة الطاقة، وضعف تخصيص المالي لمشاريع التحسين الطاقوي، ونقص الكوادر البشرية المتخصصة، فضلاً عن غياب أنظمة معلومات

طاقوية متكاملة في كثير من المنشآت. وتُمثل معالجة هذه التحديات مسؤولية مشتركة بين الإدارة العليا والمستويات التشغيلية وصناع السياسات.

وبناءً على ما سبق، يتضح أن إدارة الطاقة في مصانع البتروكيماويات تتطلب مقاربة شاملة ومتعددة الأبعاد تجمع بين الخبرة الفنية والقدرة الإدارية والرؤية الاستراتيجية، وأن نجاحها يعتمد على تكامل أبعادها الثلاثة - التخطيط الطاقوي وأنظمة المراقبة والتحكم والصيانة الوقائية - في إطار نظام مؤسسي متسق ومدعوم بالتزام الإدارة العليا وثقافة تنظيمية داعمة.

المبحث الثاني: خفض التكاليف التشغيلية

1.2.2 تمهيد

تُشكّل التكاليف التشغيلية أحد المكونات الجوهرية في هيكل التكاليف الإجمالي لأي منظمة صناعية، وتكتسب أهمية خاصة في الصناعات كثيفة رأس المال والطاقة كصناعة البتروكيماويات. ويُعدّ خفض هذه التكاليف هدفاً استراتيجياً مستمراً تسعى إليه المنظمات الصناعية لتعزيز قدرتها التنافسية وتحسين هوامشها الربحية في بيئة تتسم بالمنافسة الشديدة والتقلبات السعرية. ولا يعني خفض التكاليف التشغيلية بالضرورة تقليص حجم الإنفاق بشكل مطلق، بل يشمل أيضاً تحسين العلاقة بين المدخلات والمخرجات وتحقيق قيمة أكبر من كل وحدة نقدية مُنفقة.

وقد شهد مفهوم خفض التكاليف التشغيلية تطوراً نوعياً في الأدبيات الإدارية المعاصرة، حيث انتقل من المقاربات التقليدية القائمة على التقشف وتقليص النفقات إلى مداخل أكثر تطوراً تركز على إعادة هندسة العمليات وتبني التقنيات الحديثة وتحسين الكفاءة التشغيلية بما يحقق خفضاً مستداماً في التكاليف دون المساس بالجودة أو القدرة الإنتاجية. ويسعى هذا المبحث إلى تقديم تأطير نظري شامل لمفهوم خفض التكاليف التشغيلية وأهميته وأهدافه وأبعاده الرئيسية في سياق صناعة البتروكيماويات.

2.2.2 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 الحيارى (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 - تُمكن 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 الرشيفة 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.

3.2.2 أهمية خفض التكاليف التشغيلية

تحتل مسألة خفض التكاليف التشغيلية موقعاً مركزياً في الفكر الإداري الصناعي المعاصر، نظراً لانعكاساتها المباشرة على الأداء المالي والقدرة التنافسية واستدامة المنظمة. وتتعاظم هذه الأهمية في قطاع البتروكيماويات الذي يتسم بهوامش ربحية حساسة للتغيرات في تكاليف المدخلات وأسعار المنتجات النهائية.

ويُشير Henderson and Clark (2024) إلى أن أهمية خفض التكاليف التشغيلية في القطاع الصناعي التحويلي تتجلى في عدة أبعاد: أولاً، يُعزز خفض التكاليف الهوامش الربحية مما يوفر موارد مالية يمكن إعادة استثمارها في الابتكار والتطوير والتوسع. ثانياً، يُمكن المنظمة من تقديم أسعار تنافسية في السوق دون التضحية بجودة المنتج. ثالثاً، يُعزز من مرونة المنظمة في مواجهة الأزمات الاقتصادية والتقلبات السوقية. رابعاً، يُحسن العائد على الاستثمار للمساهمين ويُعزز جاذبية المنظمة للمستثمرين.

ويرى Johnson et al. (2025) أن أهمية خفض التكاليف التشغيلية تتضاعف في ظل التحديات المعاصرة المرتبطة بسلاسل التوريد العالمية، حيث أسهمت الاضطرابات في سلاسل الإمداد في زيادة الضغوط التكاليفية على المنظمات الصناعية، مما جعل من الكفاءة التشغيلية وخفض التكاليف ضرورة حيوية وليست مجرد هدف تحسيني.

ومن منظور استراتيجي، يؤكد الحياي (2024) أن خفض التكاليف التشغيلية يُسهم في تعزيز القدرة التنافسية للمنظمة من خلال تمكينها من المنافسة على أساس التكلفة في الأسواق التي تتسم بحساسية

سعرية عالية، وهو ما يكتسب أهمية خاصة في صناعة البتروكيماويات التي تتنافس فيها المنتجات السلعية على أساس السعر بشكل رئيسي.

ويُبرز البغدادي (2023) أن أهمية خفض التكاليف التشغيلية في صناعة البتروكيماويات ترتبط بطبيعة المنافسة في هذا القطاع على المستوى الدولي، حيث تواجه المصانع ضغوطاً تنافسية من منتجين يتمتعون بمزايا تكاليفية ناتجة عن وفرة المواد الخام أو انخفاض تكاليف الطاقة أو العمالة. ولذلك يُصبح تحسين الكفاءة التشغيلية وخفض التكاليف مدخلاً حتمياً للحفاظ على الحصة السوقية والربحية.

كما يُشير الشمري (2023) إلى أن أهمية تخفيض التكاليف في الشركات الصناعية تتعزز مع التطورات التكنولوجية المتسارعة التي تُتيح أدوات وأساليب جديدة لتحقيق وفورات لم تكن ممكنة سابقاً، مما يجعل المنظمات التي تتأخر في تبني هذه الأدوات عرضة لفقدان ميزتها التنافسية أمام المنافسين الأكثر كفاءة.

ويُضيف (Cardenas-Barron et al. 2024) أن أهمية خفض التكاليف التشغيلية لا تقتصر على الأثر المالي المباشر، بل تمتد لتشمل تحسين موثوقية العمليات الإنتاجية وتقليل الهدر والاستخدام الأمثل للموارد، وهي نتائج تنعكس إيجاباً على جودة المنتج ورضا العملاء والسمعة المؤسسية.

وتؤكد العتيبي (2022) أن أهمية خفض التكاليف التشغيلية في المنشآت الصناعية السعودية تكتسب بُعداً إضافياً في سياق التحول الاقتصادي الوطني الذي يستهدف تعزيز القدرة التنافسية للصناعة المحلية وتنويع مصادر الدخل، حيث يُمثل تحسين الكفاءة التشغيلية شرطاً ضرورياً لنجاح هذا التحول.

4.2.2 أهداف خفض التكاليف التشغيلية

يستهدف خفض التكاليف التشغيلية تحقيق مجموعة من الغايات التي تتراوح بين الأهداف قصيرة المدى المتعلقة بتحسين الربحية الفورية والأهداف طويلة المدى المرتبطة بتعزيز الاستدامة والقدرة التنافسية. وقد حدد الباحثون هذه الأهداف من منظورات متعددة تعكس ثراء هذا المجال وتعدد أبعاده.

يُحدد (Henderson and Clark 2024) ثلاثة أهداف رئيسية لاستراتيجيات خفض التكاليف التشغيلية في القطاع الصناعي: أولاً، تحسين الكفاءة التشغيلية من خلال تحقيق مخرجات أكبر بمدخلات أقل أو مماثلة. ثانياً، تعزيز المرونة التشغيلية التي تُمكن المنظمة من التكيف مع تقلبات الطلب والعرض

دون تحمل تكاليف إضافية مفرطة. ثالثاً، بناء قدرات تنافسية مستدامة تُميّز المنظمة عن منافسيها على المدى البعيد.

ويُضيف (Johnson et al. (2025) أهدافاً تتعلق بتحسين أداء سلسلة التوريد من خلال خفض التكاليف اللوجستية وتقليل المخزون الزائد وتحسين العلاقة مع الموردين بما يحقق وفورات تكاليفية مشتركة. كما يهدف خفض التكاليف إلى تحرير موارد مالية يمكن توجيهها نحو الاستثمار في الابتكار وتطوير المنتجات وتحسين تجربة العملاء.

ويرى الحيارى (2024) أن من أهداف خفض التكاليف التشغيلية تحسين الأداء المالي والتشغيلي بشكل متزامن، بحيث لا يأتي خفض التكاليف على حساب الأداء التشغيلي، بل يكون نتيجة لتحسين هذا الأداء ذاته من خلال نظم تكاليف أكثر دقة وعدالة في تخصيص الموارد.

كما يُشير العرداوي والجبوري (2021) إلى أن خفض التكاليف التشغيلية يهدف إلى تعظيم القيمة المقدمة للعميل بأقل تكلفة ممكنة، وذلك من خلال التمييز بين الأنشطة المضيضة للقيمة وغير المضيضة لها والتركيز على تعزيز الأولى وتقليل الثانية.

وتُحدد السيد (2023) أهداف خفض التكاليف في إطار فلسفة التصنيع الرشيق في: القضاء على الهدر بجميع أشكاله، وتقليص زمن الدورة الإنتاجية، وتحسين تدفق العمليات، وزيادة مرونة خطوط الإنتاج، وتعزيز مشاركة العاملين في جهود التحسين المستمر. وتتكامل هذه الأهداف لتنتج خفضاً شاملاً ومستداماً في التكاليف التشغيلية.

ويُبرز الشمري (2023) أن من أهداف تخفيض التكاليف توظيف التقنيات المتقدمة كالذكاء الاصطناعي في أتمتة العمليات الروتينية وتحسين دقة القرارات التشغيلية، مما يُقلل من الأخطاء البشرية والتكاليف المرتبطة بها ويُحسّن الإنتاجية الكلية.

5.2.2 أبعاد خفض التكاليف التشغيلية

تم تحديد أبعاد خفض التكاليف التشغيلية في هذه الدراسة بناءً على المراجعة المعمقة للأدبيات ذات الصلة، واستناداً بشكل خاص إلى ما قدمه كل من (Henderson and Clark (2024 في سياق استراتيجيات الكفاءة التشغيلية في القطاع الصناعي، و (Johnson et al. (2025 في إطار تقنيات خفض

التكاليف والكفاءة التشغيلية، والحياري (2024) في سياق نظام التكاليف المبني على الأنشطة وأثره على الأداء المالي والتشغيلي، و (Cardenas-Barron et al. (2024 في إطار خفض التكاليف في أنظمة التصنيع. وقد تبلور عن هذه المراجعة تحديد خفض التكاليف التشغيلية كمتغير أحادي يُقاس من خلال مؤشرات متعددة تعكس جوانبه المختلفة في سياق مصانع البتروكيماويات.

ويتضمن خفض التكاليف التشغيلية عدة مكونات فرعية مترابطة يمكن تحليلها على النحو التالي:

● خفض تكاليف الطاقة

يُمثل خفض تكاليف الطاقة أحد أهم مكونات خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات نظراً للنسبة المرتفعة التي تشغلها الطاقة في هيكل التكاليف الإجمالي. ويُشير (Zhang et al. (2023 إلى أن ممارسات إدارة الطاقة الفعالة في صناعات البتروكيماويات يمكن أن تُحقق خفضاً ملموساً في فاتورة الطاقة من خلال تحسين كفاءة الاستهلاك وتقليل الفاقد واستعادة الطاقة الحرارية المهدرة. ويتطلب تحقيق هذا الخفض استثمارات في تقنيات كفاءة الطاقة وأنظمة المراقبة والتحكم، إلا أن هذه الاستثمارات عادة ما تُحقق عوائد مالية مجزية في فترات معقولة.

ويؤكد (Sudhakaran et al. (2023 أن كفاءة الطاقة تُمثل الوسيلة الأقل تكلفة والأسرع تأثيراً في خفض تكاليف الطاقة الصناعية مقارنة ببدايل أخرى كالتحول الكامل لمصادر طاقة بديلة. ويُبرز أن الوفورات الطاقوية المتحققة من تحسين الكفاءة تتراكم بشكل مضاعف عبر الزمن، حيث أن كل تحسين في الكفاءة يُقلل من حجم الاستثمارات اللازمة في البنية التحتية الطاقوية مستقبلاً.

وتُشير المطيري (2022) إلى أن تطبيق معيار ISO 50001 في المنشآت الصناعية أثبت جدواه في تحقيق خفض منتظم ومستدام في تكاليف الطاقة من خلال المنهجية الدورية للتحسين المستمر التي يتبناها المعيار. ويعتمد حجم الخفض المتحقق على عوامل عدة تشمل حالة المنشأة الأولية ومستوى الالتزام الإداري وحجم الاستثمارات المخصصة لمشاريع التحسين.

● خفض تكاليف الصيانة والأعطال

يُعَدّ خفض تكاليف الصيانة والأعطال مكوناً ثانياً محورياً في منظومة خفض التكاليف التشغيلية، خاصة في الصناعات المستمرة كالبتروكيماويات حيث تكون تكاليف التوقف والأعطال باهظة. ويُوضح

(Cardenas-Barron et al. (2024) أن الأعطال الاحتمالية في خطوط التصنيع تُؤد تكاليف مضاعفة تتضمن تكاليف الإصلاح المباشرة وتكاليف الإنتاج المفقود وتكاليف المواد التالفة وتكاليف إعادة التشغيل، مما يجعل الاستثمار في منع الأعطال أكثر جدوى اقتصادية من التعامل معها بعد حدوثها.

ويُشير الشمري (2023) إلى أن توظيف التقنيات المتقدمة كالذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية يُسهم في خفض تكاليف الصيانة من خلال تحديد المشكلات المحتملة قبل تفاقمها، مما يُمكن من جدولة التدخلات الصيانية بشكل يقلل من التوقفات غير المخططة ويُحسّن من استغلال عمر المعدات الافتراضي. كما يؤكد العرداوي والجبوري (2021) أن منهجية الإنتاج الرشيق تُسهم في خفض تكاليف الصيانة من خلال تبني مفهوم الصيانة الإنتاجية الشاملة التي تُشرك جميع العاملين في المحافظة على المعدات وتحسين حالتها، مما يُقلل من الحاجة إلى تدخلات صيانية مكلفة ويُطيل الفترات الفاصلة بين الأعطال.

● خفض تكاليف الهدر والفاقد

يُمثل الهدر بأشكاله المتعددة مصدراً رئيسياً لارتفاع التكاليف التشغيلية في المنشآت الصناعية، ويشمل هدر المواد الخام والطاقة والوقت والجهد البشري. وتُبرز السيد (2023) أن فلسفة التصنيع الرشيق تُحدد سبعة أشكال رئيسية للهدر ينبغي القضاء عليها منهجياً لتحقيق خفض شامل في التكاليف، وهي: الإفراط في الإنتاج، والانتظار، والنقل غير الضروري، والمعالجة الزائدة، والمخزون الفائض، والحركات غير المنتجة، والعيوب.

ويُشير بوذريع وسراج (2022) إلى أن ترشيد الاستهلاك في المنشآت الصناعية - بما يشمل ترشيد استهلاك الطاقة والمواد - يُعدّ مدخلاً جوهرياً لخفض الهدر وما يرتبط به من تكاليف، مع الإشارة إلى أن تحقيق هذا الترشيح يتطلب تغييراً في الثقافة التنظيمية وأنماط السلوك التشغيلي فضلاً عن التدخلات التقنية.

ويتقاطع مفهوم خفض الهدر مع إدارة الطاقة بشكل مباشر، حيث يُمثل الفاقد الطاقوي أحد أهم أشكال الهدر في الصناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة. وتُبرز الأدبيات أن نسبة كبيرة من الطاقة المستهلكة في العمليات الصناعية تضيع على شكل حرارة مهدرة أو فاقد في أنظمة التوزيع أو تشغيل غير كفؤ للمعدات، مما يُمثل فرصة كبيرة لخفض التكاليف.

6.2.2 استراتيجيات خفض التكاليف التشغيلية

تتعدد الاستراتيجيات المتاحة للمنظمات الصناعية لتحقيق خفض مستدام في تكاليفها التشغيلية، وتتباين هذه الاستراتيجيات من حيث نطاقها ومتطلباتها وسرعة تأثيرها. ويمكن تحليل أبرز هذه الاستراتيجيات كما يلي:

● استراتيجية تحسين كفاءة الطاقة

تُعدّ هذه الاستراتيجية من أكثر مداخل خفض التكاليف فعالية في الصناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة. ويؤكد (Sudhakaran et al. (2023 أن تحسين كفاءة الطاقة يُمثل ركيزة أساسية لأي استراتيجية شاملة لخفض التكاليف في القطاع الصناعي، نظراً لعوائدها المالية المجزية وقابليتها للتطبيق عبر جميع مراحل سلسلة الإنتاج. وتتضمن هذه الاستراتيجية استبدال المعدات القديمة بأخرى أكثر كفاءة، وتحسين أنظمة العزل الحراري، واسترداد الطاقة الحرارية المهدرة، وتحسين أنظمة الإضاءة والتكييف.

ويُبرز الزهراني (2023) أن كفاءة الطاقة في القطاع الصناعي السعودي تُمثل استراتيجية ذات عائد مزدوج: اقتصادي من خلال خفض فاتورة الطاقة، ووطني من خلال إتاحة كميات إضافية من الطاقة للتصدير أو لاستخدامات تنموية أخرى.

● استراتيجية تحسين العمليات والإنتاج الرشيق

تقوم هذه الاستراتيجية على إعادة تصميم العمليات الإنتاجية بما يُقلل من الخطوات غير الضرورية ويُحسن تدفق العمل ويُقلص أوقات الانتظار. وتوضح السيد (2023) أن تطبيق نظم التصنيع الرشيق يُحقق خفضاً في التكاليف من خلال القضاء المنهجي على الهدر وتحسين انسيابية العمليات وتقليل المخزون وتعزيز الجودة من المصدر.

ويشير العرداوي والجبوري (2021) إلى أن منهجية سلسلة القيمة الرشيقة تُوفر أداة فعّالة لتحليل تدفق القيمة وتحديد نقاط التحسين الممكنة، حيث يتم رسم خريطة لتدفق القيمة الحالي وتصميم حالة مستقبلية مثلى ثم تنفيذ التحسينات اللازمة للانتقال بين الحالتين.

● استراتيجية توظيف التقنيات المتقدمة

تعتمد هذه الاستراتيجية على الاستثمار في التقنيات الحديثة كالذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والأتمتة الذكية لتحقيق وفورات تشغيلية. ويُشير رزق (2025) إلى أن تقنيات الثورة الصناعية الرابعة تُوفر إمكانيات واسعة لترشيد التكاليف التشغيلية من خلال الأتمتة والتحليل التنبؤي وتحسين اتخاذ القرارات.

ويؤكد محمود (2025) أن حلول الذكاء الاصطناعي تُسهم في تعزيز الرقابة على التكاليف والكفاءة التشغيلية من خلال أتمتة العمليات الروتينية واكتشاف الأنماط غير الطبيعية وتقديم توصيات لتحسين الأداء. كما يُشير الجبوري وآخرون (2025) إلى أن تكامل أنظمة الدفع الإلكتروني وإنترنت الأشياء يُحقق خفضاً ملموساً في التكاليف التشغيلية من خلال أتمتة المعاملات وتقليل الأخطاء البشرية.

● استراتيجية تطبيق نظم التكاليف المتقدمة

تقوم هذه الاستراتيجية على استخدام أنظمة محاسبية متطورة تُوفر معلومات أكثر دقة وتفصيلاً حول توزيع التكاليف ومصادرها. ويُوضح الحياوي (2024) أن نظام التكاليف المبني على الأنشطة يُمكن من تحديد التكلفة الحقيقية لكل نشاط ومنتج، مما يُساعد في اتخاذ قرارات أفضل بشأن التسعير وتخصيص الموارد والتخلي عن الأنشطة غير المجدية اقتصادياً.

وتُبرز العتيبي (2022) أن التكامل بين استراتيجيات إدارة التكلفة المختلفة يُحقق تأثيراً تآزرياً يفوق مجموع تأثيراتها الفردية، حيث يُمكن الجمع بين التكلفة المستهدفة وتحليل القيمة والتحسين المستمر لتحقيق خفض شامل ومستدام في التكاليف.

● استراتيجية تخطيط موارد المؤسسة

يُشير الجابري وأحمد (2025) إلى أن أنظمة تخطيط موارد المؤسسة (ERP) تُسهم في تخفيض تكاليف الشركات الصناعية من خلال تكامل المعلومات وتحسين التنسيق بين الأقسام المختلفة وأتمتة العمليات الإدارية وتقليل الازدواجية في الجهود. ويتيح هذا التكامل المعلوماتي رؤية شاملة لسلسلة القيمة بأكملها مما يُمكن من تحديد فرص التحسين واستغلالها.

7.2.2 العلاقة بين إدارة الطاقة وخفض التكاليف التشغيلية

تقوم العلاقة النظرية بين إدارة الطاقة وخفض التكاليف التشغيلية على أساس أن الطاقة تُمثل مكوناً رئيسياً من مكونات التكاليف التشغيلية في المنشآت الصناعية كثيفة الاستهلاك، وأن تحسين كفاءة إدارتها

ينعكس مباشرة على حجم هذه التكاليف. إلا أن هذه العلاقة أكثر تعقيداً من مجرد علاقة خطية مباشرة، إذ تتوسطها عوامل تنظيمية وتقنية وبيئية متعددة.

يُوضح (Zhang et al. (2023 أن العلاقة بين ممارسات إدارة الطاقة وخفض التكاليف التشغيلية في صناعات البتروكيماويات تأخذ مسارات متعددة: مسار مباشر يتمثل في خفض فاتورة الطاقة نتيجة تحسين كفاءة الاستهلاك، ومسارات غير مباشرة تتضمن تحسين موثوقية المعدات وتقليل التوقفات وإطالة العمر الافتراضي للأصول، وجميعها تُسهم في خفض التكاليف التشغيلية الإجمالية.

ويؤكد (Thollander and Palm (2022 أن أنظمة إدارة الطاقة الصناعية المتكاملة تُحقق وفورات تتجاوز تكاليف الطاقة المباشرة، حيث تُسهم في تحسين الأداء التشغيلي بشكل عام من خلال ترسيخ ثقافة الكفاءة والتحسين المستمر التي تنتشر تدريجياً لتشمل جميع جوانب العمليات وليس فقط جانب الطاقة.

ويربط (Mahdi et al. (2024 بين تحسين إدارة الطاقة وخفض تكاليف التشغيل من خلال مفهوم الأمثلية، حيث تسعى أنظمة إدارة الطاقة الذكية إلى إيجاد نقطة التشغيل المثلى التي تُوازن بين متطلبات الإنتاج واستهلاك الطاقة، مما يُحقق أقل تكلفة تشغيلية ممكنة لمستوى إنتاجي محدد.

كما يُبرز البغدادي (2023) أن تحسين الأداء في صناعة البتروكيماويات يرتبط ارتباطاً وثيقاً بالإدارة الكفؤة للطاقة بوصفها أحد عوامل الإنتاج الرئيسية، وأن أي تحسين في كفاءة استخدام الطاقة ينعكس مباشرة على تنافسية المنتج النهائي من حيث التكلفة.

وتُضيف المطيري (2022) أن العلاقة بين إدارة الطاقة وخفض التكاليف التشغيلية تتعزز عبر الزمن، حيث أن الالتزام المستمر بنظام إداري متكامل للطاقة يُراكم خبرات ومعارف تنظيمية تُمكن من تحقيق وفورات متزايدة مع مرور الوقت من خلال تحديد فرص تحسين جديدة والبناء على الإنجازات السابقة.

8.2.2 المداخل النظرية لفهم العلاقة بين إدارة الطاقة والتكاليف التشغيلية

يمكن تحليل العلاقة بين إدارة الطاقة وخفض التكاليف التشغيلية من خلال عدة مداخل نظرية تُوفر أطراً تفسيرية لهذه العلاقة وآلياتها:

⦿ المدخل القائم على الموارد

ينظر هذا المدخل إلى كفاءة إدارة الطاقة بوصفها قدرة تنظيمية فريدة يمكن أن تُشكّل مصدراً للميزة التنافسية المستدامة. وتعكس القدرة على إدارة الطاقة بكفاءة مهارات تنظيمية ومعرفة ضمنية يصعب على المنافسين تقليدها بسرعة، مما يمنح المنظمة تفوقاً تكاليفياً مستداماً. ويتسق هذا المنظور مع ما يُشير إليه Henderson and Clark (2024) بشأن اعتبار الكفاءة التشغيلية مصدراً للتمايز التنافسي.

⦿ مدخل سلسلة القيمة

يُوفر هذا المدخل إطاراً لتحليل كيفية إسهام إدارة الطاقة في خفض التكاليف عبر مختلف حلقات سلسلة القيمة. ويتقاطع مع ما يُقدمه العرداوي والجبوري (2021) حول تحليل سلسلة القيمة الرشيقية وتحديد الأنشطة غير المضيفة للقيمة بما فيها الهدر الطاقوي، والعمل على تقليصها لتحقيق خفض شامل في التكاليف.

⦿ مدخل التحسين المستمر

يرتكز هذا المدخل على فلسفة الكايزن اليابانية التي تقوم على التحسينات التراكمية المستمرة. وتتسق مع هذا المنظور دورة PDCA التي يتبناها معيار ISO 50001 كما توضح المطيري (2022)، حيث يُحقق التحسين المستمر خفضاً تدريجياً ومستداماً في التكاليف التشغيلية من خلال دورات متتالية من القياس والتحليل والتطوير.

⦿ المدخل التكنولوجي

ينظر هذا المدخل إلى التكنولوجيا بوصفها محركاً رئيسياً لخفض التكاليف من خلال الأتمتة والرقمنة والتحليل الذكي. ويتسق مع ما يُقدمه رزق (2025) حول دور تقنيات الثورة الصناعية الرابعة في ترشيد التكاليف التشغيلية، وما يُبرزه Mahdi et al. (2024) بشأن تحسين الأداء الطاقوي من خلال خوارزميات التحسين الذكية.

9.2.2 خفض التكاليف التشغيلية في صناعة البتروكيماويات

تتسم صناعة البتروكيماويات بخصائص هيكلية تجعل من خفض التكاليف التشغيلية تحدياً وفرصة في آن واحد. وتتطلب معالجة هذا الموضوع فهماً لطبيعة هيكل التكاليف في هذه الصناعة والعوامل المؤثرة فيه.

يُوضح البغدادي (2023) أن هيكل التكاليف في صناعة البتروكيماويات يتميز بارتفاع نسبة التكاليف المتغيرة - خاصة تكاليف المواد الخام والطاقة - مقارنة بالتكاليف الثابتة، مما يعني أن التحكم في هذه التكاليف المتغيرة يُمثل المدخل الأكثر فعالية لتحسين الربحية. ومن بين المكونات المتغيرة، تحتل الطاقة مرتبة متقدمة نظراً لطبيعة العمليات الإنتاجية التي تتطلب كميات ضخمة من الطاقة الحرارية والكهربائية.

ويُشير Zhang et al. (2023) إلى أن مصانع البتروكيماويات في الأسواق الآسيوية تُواجه ضغوطاً تنافسية متزايدة تدفعها نحو البحث المستمر عن سبل خفض تكاليفها التشغيلية، وأن إدارة الطاقة تُمثل أحد أهم المداخل المتاحة لتحقيق ذلك نظراً للحصة الكبيرة التي تشغلها الطاقة في هيكل التكاليف.

وفي السياق ذاته، يُبرز Cardenas-Barron et al. (2024) أن أنظمة التصنيع المتقدمة التي تدمج بين ضمان الجودة وإدارة الأعطال وتحسين جدولة العمل تُحقق خفضاً شاملاً في التكاليف التشغيلية يشمل جميع مكوناتها. وينطبق هذا المبدأ على صناعة البتروكيماويات حيث يُمكن للتكامل بين أنظمة إدارة الطاقة وأنظمة الجودة والصيانة أن يُحقق وفورات تأزيرية تفوق مجموع الوفورات الفردية.

كما يُشير الجبالي وآخرون (2025) إلى أن إصلاحات قطاع الطاقة وتحرير أسعارها تُفرض ضغوطاً إضافية على المنشآت الصناعية لتحسين كفاءتها الطاقوية، حيث أن رفع الدعم عن أسعار الطاقة يعني زيادة مباشرة في تكاليف التشغيل ما لم تُقابلها تحسينات موازية في كفاءة الاستهلاك. ويُبرز ذلك الترابط الوثيق بين البيئة التنظيمية والسياسات الحكومية من جهة واستراتيجيات خفض التكاليف التشغيلية من جهة أخرى.

ويُضيف Dey et al. (2023) أن إدارة الطلب على الطاقة بشكل ذكي يُمكن أن تُحقق تشغيلاً اقتصادياً يوازن بين تكاليف الطاقة ومتطلبات الإنتاج، وهو ما يكتسب أهمية خاصة في مصانع البتروكيماويات التي تعمل على مدار الساعة وتتباين فيها تكاليف الطاقة وفقاً لفترات الذروة والطلب المنخفض.

وخلاصة القول، يتبين أن خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات يتحقق من خلال تكامل عدة مداخل يأتي في مقدمتها تحسين إدارة الطاقة بأبعادها المختلفة - التخطيط الطاقوي وأنظمة المراقبة والتحكم والصيانة الوقائية - باعتبارها المدخل الأكثر تأثيراً في ضوء الحصة المرتفعة التي تمثلها الطاقة في هيكل التكاليف التشغيلية لهذا القطاع. وتقوم الدراسة الحالية على فحص هذه العلاقة ميدانياً في

سياق مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية، بهدف التحقق من مدى إسهام كل بُعد من أبعاد إدارة الطاقة في تحقيق خفض فعلي ودال إحصائياً في التكاليف التشغيلية.

الفصل الثالث: منهجية الدراسة

1.3 تمهيد

يتناول هذا الفصل الإجراءات المنهجية التي اتبعتها الدراسة الحالية للإجابة عن تساؤلاتها واختبار فروضها، وذلك من خلال تحديد المنهج العلمي المستخدم، ووصف مجتمع الدراسة وعينتها، وتوضيح أداة جمع البيانات وآلية بنائها، فضلاً عن التحقق من صدق الأداة وثباتها، وعرض مصفوفة الارتباط بين متغيرات الدراسة، وصولاً إلى تحديد الأساليب الإحصائية المستخدمة في تحليل البيانات واختبار الفروض. وقد حرص الباحث على اختيار الإجراءات المنهجية الملائمة لطبيعة الدراسة وأهدافها بما يضمن الوصول إلى نتائج موثوقة وقابلة للتعميم في حدود مجتمع الدراسة.

2.3 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 استخدم الأسلوب المسحي الميداني من خلال الاستبانة كأداة رئيسية لجمع البيانات الأولية من مفردات عينة الدراسة.

3.3 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) استبانة، استبعدت (5) استبانة لعدم اكتمال البيانات أو عدم جدية الإجابة، ليصبح عدد الاستبانة الصالحة للتحليل الإحصائي (202) استبانة بنسبة استرداد صالحة بلغت (91.8%).

جدول (3 - 1) توزيع الاستبانة واستردادها

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

4.3 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 استخدم مقياس ليكرت الخماسي لقياس استجابات أفراد العينة، حيث تتدرج الاستجابات من (1) بشدة إلى (5) موافق بشدة، وفق التدرج التالي:

جدول (3 - 3) مقياس ليكرت الخماسي لقياس

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

5.3 صدق أداة الدراسة

أ. الصدق الظاهري (صدق المحكمين)

تم عرض الاستبانة في صورتها الأولية على مجموعة من المحكمين المتخصصين في إدارة الأعمال والمحاسبة وهندسة الطاقة بلغ عددهم (7) محكمين 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 تتدرج 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 للبعد 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 للبعد

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 للبعد

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 للبعد

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 إحصائية بالدرجة الكلية لمحور إدارة الطاقة، مما يؤكد الصدق البنائي للأداة.

6.3 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 ولأداة 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.

7.3 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 (كل)	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 (كل)	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 بـ خفض 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.

8.3 الأساليب الإحصائية المستخدمة

تم تحليل بيانات الدراسة باستخدام برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS V.26)، وقد استخدمت 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): اختبار 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.

الفصل الرابع: تحليل البيانات واختبار الفرضيات

1.4 تمهيد

يتناول هذا الفصل عرض نتائج التحليل الإحصائي للبيانات التي تم جمعها من خلال أداة الدراسة، وذلك بهدف الإجابة عن تساؤلات الدراسة واختبار فروضها. ويتضمن الفصل ثلاثة أقسام رئيسية: القسم الأول يستعرض تحليل البيانات الديموغرافية والوظيفية لأفراد العينة، والقسم الثاني يتناول التحليل الوصفي لاستجابات أفراد العينة على محاور الدراسة وأبعادها، أما القسم الثالث فيُخصص لاختبار فرضيات الدراسة باستخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط والمتعدد.

2.4 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

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

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

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

يتبين 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 تُمكنهم 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.

3.4 التحليل الوصفي لمحاور الدراسة

تم حساب المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة على فقرات كل بُعد من أبعاد الدراسة، واعتمد 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

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 طااقوية 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 طااقوية 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 طااقوية قابلة للقياس لمتابعة تحقق الأهداف الطااقوية 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	ك	95	58	26	14	9	3.57	1.102	1

									لمشاريع تحسين كفاءة الطاقة وفق أولويات مدروسة
			4.5	6.9	12.9	28.7	47.0	%	
عالية	1.032	3.47	المتوسط العام لبُعد التخطيط الطاقوي						

يتبين 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 حلت 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	ك	82	64	30	18	8	3.46	1.094	3

									الأداء الطاقوي للأقسام التشغيلية المختلفة	
			4.0	8.9	14.9	31.7	40.6	%		
1	1.112	3.64	9	14	22	52	105	ك	يتم إصدار تنبيهات آلية عند حدوث انحرافات غير طبيعية في أنماط استهلاك الطاقة	7
			4.5	6.9	10.9	25.7	52.0	%		
4	1.132	3.37	10	20	34	62	76	ك	تُستخدم بيانات أنظمة المراقبة في اتخاذ قرارات تشغيلية لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة	8
			5.0	9.9	16.8	30.7	37.6	%		
عالية		1.048	3.52	المتوسط العام لُبُعد أنظمة المراقبة والتحكم						

يتضح من الجدول (2) أن المتوسط العام لُبُعد 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	ك	74	62	36	20	10	3.34	1.126	3

									المرتبطة بأنظمة الطاقة بشكل دوري
			5.0	9.9	17.8	30.7	36.6	%	
متوسطة	1.072	3.39	المتوسط العام لبُعد الصيانة الوقائية للمعدات						

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	ك	88	62	28	16	8	3.52	1.076	3

									تطبيق برامج الصيانة الوقائية	
			4.0	7.9	13.9	30.7	43.6	%		
7	1.138	3.38	10	18	38	56	80	ك	تحسنت نسبة تكاليف الطاقة إلى إجمالي تكاليف الإنتاج خلال السنوات الأخيرة	15
			5.0	8.9	18.8	27.7	39.6	%		
1	1.124	3.60	10	14	24	52	102	ك	أدت أنظمة المراقبة إلى تقليل الهدر الطاقوي في العمليات الإنتاجية	16
			5.0	6.9	11.9	25.7	50.5	%		
4	1.094	3.46	8	18	32	60	84	ك	انخفضت تكاليف الإصلاحات الطارئة للمعدات بعد تطبيق جداول الصيانة المنتظمة	17
			4.0	8.9	15.8	29.7	41.6	%		
9	1.148	3.33	10	22	36	58	76	ك	ساهم التخطيط الطاقوي في تحسين معدل العائد على الاستثمار في مشاريع كفاءة الطاقة	18
			5.0	10.9	17.8	28.7	37.6	%		
5	1.118	3.43	10	18	30	62	82	ك	تراجعت تكاليف إعادة التشغيل بعد التوقفات نتيجة	19

									تحسين موثوقية المعدات	
			5.0	8.9	14.9	30.7	40.6	%		
8	1.144	3.36	10	20	38	56	78	ك	أسهمت أنظمة التحكم الآلي في تحسين كفاءة استخدام المواد الخام المرتبطة بالطاقة	20
			5.0	9.9	18.8	27.7	38.6	%		
6	1.128	3.40	10	18	34	60	80	ك	حقق المصنع وفورات مالية قابلة للقياس من خلال برامج ترشيد الطاقة المطبقة	21
			5.0	8.9	16.8	29.7	39.6	%		
10	1.164	3.26	12	22	40	58	70	ك	انعكس تحسين الأداء الطاقوي إيجاباً على التكلفة الإجمالية لكل وحدة منتجة	22
			5.9	10.9	19.8	28.7	34.7	%		
عالية		1.068	3.43	المتوسط العام لمحور خفض التكاليف التشغيلية						

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.

4.3 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

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		

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

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 تبين أن بُعد "أنظمة المراقبة والتحكم" هو الأكثر تأثيراً على خفض التكاليف التشغيلية، حيث بلغ معامل الانحدار له ($B = 0.386$) بقيمة ($T = 5.214$) 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 ($B = 0.312, T = 4.576, \text{Sig.} = 0.000$)، مما يعكس أهمية التخطيط المنهجي والاستباقي في تحقيق وفورات طاقوية مستدامة. بينما أظهر بُعد الصيانة الوقائية للمعدات أثراً دالاً لكنه أقل نسبياً (B)

(0.002 = Sig., T = 3.189, = 0.218)، 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 الجوهرى 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 الفرعى الأول القائل بوجود أثر ذي دلالة إحصائية للتخطيط الطاقوي على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية.

اختبار الفرض الفرعى الثانى

“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 الخطى البسيط (Simple Linear Regression)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالى:

جدول (4 - 13): تحليل الانحدار الخطى 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 إحصائية 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 الفائل 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 إحصائية 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. ويُفسر 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.

الفصل الخامس: النتائج والتوصيات

1.5 تمهيد

يستعرض هذا الفصل أبرز النتائج التي توصلت إليها الدراسة من خلال التحليل الإحصائي للبيانات الميدانية، مع تفسير هذه النتائج وربطها بالإطار النظري والدراسات السابقة ذات الصلة. كما يتضمن الفصل مجموعة من التوصيات المستندة إلى النتائج والموجهة نحو تعزيز ممارسات إدارة الطاقة وتعظيم أثرها في خفض التكاليف التشغيلية بمصانع البتروكيماويات بمنطقة ينبع الصناعية.

2.5 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 طاوقية 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 أكدته 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 أكدته 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 أوضحتها 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 أكدّه (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 أكدّه (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 يُدرك بوضوح من قبل العاملين

نظراً لكونه مباشراً وقابلاً للقياس. ويُفسّر ذلك بأن أنظمة المراقبة تكشف عن مصادر الهدر في الوقت الحقيقي وتُمكن 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 أكدّه 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 أكدّه (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 يُوفّر الإطار التوجيهي الذي يُمكن المصنع من تحديد أولويات التحسين وتخصيص الموارد بكفاءة واستهداف مصادر الهدر الأكبر تأثيراً على التكاليف. كما أن وضع أهداف طاقوية واضحة وربطها بالتخطيط المالي يُساهم 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 أكدته 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. ويُفسر ذلك بأن أنظمة المراقبة والتحكم تُوفر رؤية لحظية ودقيقة لأنماط الاستهلاك الطاقوي، مما يُمكن 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 أكدته 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. ويُفسر 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 يُصعب 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 أكدته 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 أكدته (Sudhakaran et al. (2023 حول ضرورة تكامل الأبعاد المختلفة لكفاءة الطاقة لتحقيق أثر شامل، وما أوضحتها 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 تقتصر إلى الإطار التوجيهي، والصيانة الوقائية تعتمد على بيانات المراقبة وتستترشد بأولويات التخطيط. ويتسق ذلك مع ما أكدته (Thollander and Palm (2022 حول أن إدارة الطاقة نظام متكامل وليست مجرد إجراءات منفصلة.

3.5 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 بملوحات معلومات تفاعلية تُتاح لجميع المستويات الإدارية والتشغيلية، لسد الفجوة المكتشفة بين التخطيط الطاقوي ومتابعة تنفيذه.
- تحويل برامج الصيانة الوقائية من منظور الوثوقية 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 يُمكن 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 ويُرسخ 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 يُمكن 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 واحدة 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 معدلة كالثقافة التنظيمية والتزام الإدارة العليا والبنية التحتية التكنولوجية، لاستكمال فهم العوامل المؤثرة في النسبة غير المفسرة من التباين في خفض التكاليف التشغيلية.

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.

المراجع

أولاً: المراجع العربية

- البدرى، رشا عبدالعزيز إسماعيل، و حسين، 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، و أحمد، 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، و مطاوع، 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، و الفتلاوي، 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>

- حلاسة، هناء، و طرايش، معمر. (2024). أثر الانتقال إلى الطاقة المستدامة على البعد البيئي للتنمية المستدامة في الجزائر. مجلة الدراسات التنموية وريادة الأعمال، مج2، ع1 ، 38 - 58. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1479087>
- الحيارى، 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 إحدى 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.
- زيتون، بشار، و هاشم، نورا. (2022). تأثير السيولة والتكاليف التشغيلية على فوائد القروض المصرفية في المصارف التقليدية الخاصة في سورية. مجلة جامعة البعث سلسلة العلوم الاقتصادية، مج44، ع29 ، 83 - 114. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1359871>
- السبعواوي، رياض أحمد خلف، و البرواري، 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>
- السيد، هدى إبراهيم. (2023). أثر تطبيق نظم التصنيع الرشيق على خفض تكاليف شركات الإنتاج في المملكة العربية السعودية لعام 2022. مجلة العلوم الاقتصادية والإدارية والقانونية - المجلة العربية للعلوم ونشر الأبحاث، 7(5)، 1-23. متاح على الرابط : <https://journals.ajsrp.com/index.php/jeals/en/article/view/6462>

- شعبان، غادة سيد عبدالله سيد. (2024). أثر استهلاك الطاقة المتجددة على البطالة في مصر. مجلة البحوث التجارية، مج46، ع3 ، 825 - 867. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1531670>
- الشمري، فهد عبدالله. (2023). أثر الذكاء الاصطناعي في تخفيض التكاليف في الشركات الصناعية الأردنية المدرجة في بورصة عمان .رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الأعمال، جامعة عمان العربية، عمان، الأردن، 1-186. متاح على الرابط : <https://search.mandumah.com/Record/1236867>
- الصخني، محسن عبدالحسين مهدي. (2024). أثر استخدام الطاقة الشمسية على الأداء الفندقية: العراق أنموذجاً. 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 :
- العرداوي، أمير عقيد كاظم، و الجبوري، حسن طاهر بريبر. (2021). قياس، أثر نظام سلسلة القيمة الرشيقة والمستهدف في تخفيض التكاليف التشغيلية: دراسة حالة في مديرية ماء محافظة النجف الأشرف. مجلة كلية الإدارة والاقتصاد للدراسات الاقتصادية والإدارية والمالية، مج13، ع4 ، 243 - 257. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1264779>
- علي، محمد بخاري حسن، و محمد، أحمد الفاضل. (2025). الأثر البيئي والاجتماعي والابتكار التكنولوجي في نجاح مشاريع الطاقة المتجددة: دراسة ميدانية على مشروع نور تشاد للطاقة الشمسية في تشاد. مجلة رماح للبحوث والدراسات، ع131 ، 490 - 543. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1640002>
- غدير، باسم غدير، إسبر، لمى فيصل، و الجهني، كرم. (2024). تأثير نظام معالجة المعاملات في تحسين الكفاءة التشغيلية: دراسة ميدانية في سوق هال اللاذقية. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات

العلمية - سلسلة العلوم الاقتصادية والقانونية، مج46، ع1، 296 - 316. مسترجع من

<http://search.mandumah.com/Record/1465184>

- محمود، سحر عبدالسميع. (2025). تعزيز الرقابة على التكاليف والكفاءة التشغيلية من خلال حلول

الدفع المدعومة بالذكاء الاصطناعي في المؤسسات المالية: دراسة حالة شركة فوري. المجلة العلمية

للدراسات المحاسبية، مج7، ع4، 1496 - 1548. مسترجع من

<http://search.mandumah.com/Record/1674233>

- المطيري، نورة خالد. (2022). أثر تطبيق نظام إدارة الطاقة ISO 50001 على الأداء التشغيلي في

المنشآت الصناعية الخليجية. رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية الدراسات العليا، جامعة الخليج العربي،

المنامة، البحرين، 1-245. متاح على الرابط :

<https://search.mandumah.com/Record/829837>

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>
- Dey, B., Misra, S., & Marquez, F. P. G. (2023). Microgrid system energy management with demand response program for clean and economical operation. Applied Energy, 334, 120717.
- Henderson, R., & Clark, M. (2024). Manufacturing Industry Outlook: Operational Efficiency and Cost Optimization Strategies. Deloitte Review, 34(1), 12-28. Retrieved from: <https://www.deloitte.com/us/en/insights/industry/manufacturing-industrial-products/manufacturing-industry-outlook/2024.html>
- Johnson, M., Smith, R., & Williams, K. (2025). Cost Reduction Techniques and Supply Chain Issues in the United States: An Analytical Review of Strategies for Operational Efficiency. Journal of Operations and Supply Chain Management, 18(1), 1-18. Retrieved from: <https://oaskpublishers.com>
- 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>

الملاحق

استمارة استبيان

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

أخي الكريم / أختي الكريمة

تحية طيبة وبعد،

يقوم الباحثين بإجراء دراسة حول قياس أثر إدارة الطاقة على خفض التكاليف التشغيلية في مصانع البتروكيماويات بينبع: دراسة ميدانية

ونظراً لما لديكم من المعرفة العلمية والخبرة العملية ذات الصلة بموضوع البحث، نأمل الحصول منكم على العون والمساعدة في توفير المعلومات المناسبة لأغراض البحث، من خلال التكرم بإبداء رأيكم بالتأشير على الإجابة المناسبة من وجهة نظركم.

وأتقدم لحضراتكم بجزيل الشكر والتقدير للمساهمة في جهدكم في تعبئة هذا الاستبيان علماً أن جميع البيانات التي سيتم الحصول عليها منكم ستعامل بسرية تامة، ولن تستخدم لغير أغراض هذا البحث، وسوف أزودكم بنتائج هذه الدراسة حال اكتمالها إن شاء الله.

وتفضلوا بقبول فائق التقدير والاحترام

أولاً: البيانات الشخصية

- 1- المؤهل العلمي □ دبلوم □ بكالوريوس □
□ ماجستير □ دكتوراه □

- 2- سنوات الخبرة □ 5 سنوات فأقل □ من 5 - 10 سنوات □
□ أكثر من 15 سنة □ من 10 - 15 سنة □

- 3- المستوى الوظيفي □ مدير إدارة / قسم □ رئيس قسم / وحدة □
□ مشرف □ مهندس / متخصص □

- 4- المصنع □ المصنع الأول □ المصنع الثاني □
□ المصنع الثالث □ المصنع الرابع □
□ المصنع الخامس □

ثانيا محاور الاستبيان

✿ المحور الأول: إدارة الطاقة ، ضع إشارة (√) في المربع المناسب لاختيارك:

المبعد	أوافق بشدة	أوافق	محايد	معارض	معارض بشدة
التخطيط الطاقوي					
يتوفر لدى المصنع خطة طاقيّة واضحة ومحددة الأهداف ومرتبطة بالخطة الاستراتيجية الشاملة					
يقوم المصنع بإجراء مراجعات طاقيّة دورية لتحديد أنماط الاستهلاك ومصادر الهدر					
يتم وضع مؤشرات أداء طاقيّة قابلة للقياس لمتابعة تحقق الأهداف الطاقيّة بشكل منتظم					
يُخصّص المصنع ميزانية كافية لمشاريع تحسين كفاءة الطاقة وفق أولويات مدروسة					
أنظمة المراقبة والتحكم					
يعتمد المصنع على أنظمة قياس ومراقبة إلكترونية لرصد استهلاك الطاقة في الوقت الحقيقي					
تتوفر لوحات معلومات تفاعلية تعرض مؤشرات الأداء الطاقي للأقسام التشغيلية المختلفة					
يتم إصدار تنبيهات آلية عند حدوث انحرافات غير طبيعية في أنماط استهلاك الطاقة					
تُستخدم بيانات أنظمة المراقبة في اتخاذ قرارات تشغيلية لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة					
الصيانة الوقائية للمعدات					
يطبق المصنع برنامج صيانة وقائية منتظم للمعدات ذات الاستهلاك الطاقي المرتفع					

المعارض بشدة	معارض	محايد	أوافق	أوافق بشدة	البعد
					يتم إجراء فحوصات دورية لأنظمة العزل الحراري وكشف تسربات البخار والهواء المضغوط
					تُستخدم تقنيات التحليل التنبؤي لتحديد أولويات الصيانة وتوقيتها الأمثل
					يتوفر نظام موثق لمعايرة أجهزة القياس والتحكم المرتبطة بأنظمة الطاقة بشكل دوري

✿ المحور الثاني: التكاليف التشغيلية، ضع إشارة (✓) في المربع المناسب لاختيارك:

المبعد	أوافق بشدة	أوافق	محايد	معارض	معارض بشدة
أسهمت ممارسات إدارة الطاقة في خفض فاتورة الطاقة الإجمالية للمصنع بشكل ملموس					
انخفضت تكاليف التوقفات غير المخططة نتيجة تطبيق برامج الصيانة الوقائية					
تحسنت نسبة تكاليف الطاقة إلى إجمالي تكاليف الإنتاج خلال السنوات الأخيرة					
أدت أنظمة المراقبة إلى تقليل الهدر الطاقوي في العمليات الإنتاجية					
انخفضت تكاليف الإصلاحات الطارئة للمعدات بعد تطبيق جداول الصيانة المنتظمة					
ساهم التخطيط الطاقوي في تحسين معدل العائد على الاستثمار في مشاريع كفاءة الطاقة					
تراجعت تكاليف إعادة التشغيل بعد التوقفات نتيجة تحسين موثوقية المعدات					
أسهمت أنظمة التحكم الآلي في تحسين كفاءة استخدام المواد الخام المرتبطة بالطاقة					
حقق المصنع وفورات مالية قابلة للقياس من خلال برامج ترشيد الطاقة المطبقة					
انعكس تحسين الأداء الطاقوي إيجاباً على التكلفة الإجمالية لكل وحدة منتجة					

مع خالص التقدير والاحترام

Mid Ocean University

College of Management

Department of risk management



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

Prepared by:

Majd khalid Alghunaim

253000834

**Main supervisor/
Dr. Al-Faisal Abdelhamid**

**Second supervisor/
Dr. Fayez Jarad**

2026 – 1448