

هندسة عمليات الإنتاج النفطي من منظور استراتيجي

- عرض تجربة شركة أرامكو السعودية -

*Oil production process engineering from a strategic perspective**- View the Saudi Aramco experience-*ربيع بليلية¹، خديجة عزوزي²¹ جامعة سوق أهراس، مخبر النمذجة والتحليل الاجتماعي-الاقتصادي في علم المياه، الجزائر، ra.belailia@univ-soukahras.dz² جامعة قلمة، مخبر النمذجة والتحليل الاجتماعي-الاقتصادي في علم المياه، الجزائر، azouzi.khadidja@univ-guelma.dz

تاريخ النشر: 2025/09/15

تاريخ القبول: 2025/07/06

تاريخ الاستلام: 2024/11/24

ملخص:

تركز هندسة البترول على تحسين عمليات استغلال حقول النفط والغاز بالاستناد إلى التحليل المحوسب لضبط قيمة ونوع الإنتاج المستقبلي، ويهتم هذا المجال الهندسي باستخراج، إنتاج، ونقل المنتجات الهيدروكربونية من بترول وغاز وفق ثلاثة مراحل أساسية تتمثل في هندسة الحفر، هندسة الإنتاج، وهندسة التخزين. ونظرا لمكانة البترول الاستراتيجية في حياة المجتمعات وتطورها انطلاقا من أحداث التوازن العالمي بين مختلف الأقطاب المنتجة والمستهلكة، نسعى من خلال بحثنا إلى بلوغ الأهداف الوظيفية لصناعة النفط بالتركيز على التخطيط الدقيق في حفر الآبار العميقة والتي تقتزن بجودة الأنابيب الفولاذية عالية الجودة والتي لا يمكن توفيرها بشكل جاهز من مصنعي الصلب.

وقد تم التوصل إلى أن تصميم الآبار وإعادة التصميم اللوجستي للعمليات الانتاجية في شركة أرامكو السعودية ترتب عنه تنسيق عملية تصميم إنتاج النفط مع أهم الموردين في الصناعة النفطية، وبالتالي ضمان جودة المنتجات واستدامة الأداء وفق مبدأ التخصص في سلسلتي الإنتاج والتوريد على حد سواء.

كلمات مفتاحية: صناعة النفط، هندسة العمليات، استراتيجيات العملية الإنتاجية، إدارة سلسلة التوريد، شركة أرامكو السعودية.

تصنيفات JEL: D72، M11، L11، L14.

Abstract:

Petroleum engineering focuses on improving the exploitation of oil and gas fields, given the strategic position of petroleum in creating a global balance between the various producing and consuming poles, through our research, we seek to achieve the functional goals of the oil industry by focusing on precise planning in drilling deep wells, which is coupled with high-quality steel pipes that cannot be provided off-the-shelf from steel manufacturers.

It was concluded that the design of wells and the logistical redesign of Saudi Aramco's production operations resulted in the coordination of the oil production design process with the most important suppliers in the oil industry, thus, ensuring the quality of products and the sustainability of performance according to the principle of specialization in both production and supply chains.

Keywords: oil industry; process engineering; production process strategies; supply chain management; Saudi Aramco Company.

Jel Classification Codes: D72, M11, L11, L14.

1. مقدمة:

يعتبر النفط أهم وقود في العالم حيث أنه يحسن مستوى معيشتنا، ويضمن راحة المجتمعات وحرية الحركة كونه الشريان الحيوي لأنظمة النقل، كما تدعم منتجات صناعة النفط المجتمع الحديث وتوفر الطاقة للصناعة الطاقوية، والتدفئة، والوقود للمركبات حول العالم، إضافة إلى المواد الأولية اللازمة لإنتاج المستلزمات اليومية. يعالج قطاع المنبع الهيدروكربونات، إذ غالبا ما يشار إليه باسم قطاع "الاستكشاف والإنتاج"، حيث يتم اكتشاف احتياطيات الهيدروكربون الموجودة تحت الأرض أو تحت الماء من خلال تحليل نتائج عمليات التفتيش الجيولوجي والمسوحات الزلزالية، وبمجرد العثور عليها يتم استخراج النفط والغاز الطبيعي من الحقول بشكل أساسي من خلال استخدام حفر الآبار، ثم معالجته ونقله في أبسط أشكاله، ويوفر هذا النشاط رابطا مهما بين المنبع والمصب، لأنه يجمع الموارد المستخرجة من المنبع ويخزنها في مصانع التكرير في المصب (من خلال شبكات خطوط الأنابيب والشاحنات والصنادل والناقلات وعربات الصحاري، ليتم تحويل هذه الموارد إلى منتجات مختلفة). ومن بين التجارب الرائدة في مجال هندسة البترول نجد شركة أرامكو السعودية التي تدعم العمليات الانتاجية من خلال تطوير واستغلال حقولها المتعلقة بالنفط الخام والغاز الطبيعي، بالإضافة إلى اعتمادها على تقنيات الذكاء الاصطناعي في القيام بدراسات التحليل الفني والتنبؤ بالإنتاج المستقبلي، وهو ما ساعدها على تطوير هذا القطاع الهندسي ومواكبة التغير الحاصل في مجال احتياجات الطاقة عالميا لاسيما الطاقات المتجددة.

1.1 إشكالية البحث: بالاستناد على ما تم سرده آنفا يمكن طرح السؤال التالي:

- إلى أي مدى تساهم هندسة إنتاج النفط في دعم سلسلة التوريد العالمية لشركة أرامكو السعودية؟

2.1 أهداف البحث:

نهدف من خلال بحثنا إلى تسليط الضوء على النقاط التالية:

- التأكيد على جودة إنتاج النفط من مرحلة الاستكشاف إلى غاية آخر مرحلة تتعلق بالوفاء بمتطلبات الزبائن؛
- ضبط عملية تقييم المخزون النفطي بالتركيز على وسائل الاستخراج الحديثة وطرق تسعيره؛
- التأثير المباشر في تشكيلة سلسلة التوريد العالمية من خلال تأمين الحصول على مواد أولية تدخل في صناعات استراتيجية كالألياف البصرية؛
- الاستفادة من تجربة شركة أرامكو السعودية للتحكم أكثر في المشاكل البيئية بتبني نظام انتاجي مستدام ومتكامل يركز على دعم إنتاج الطاقات المتجددة؛
- القضاء على المفارقات النفطية ذات الصلة بعدالة الأسعار وفرض منطق السوق الاقتصادي.

3.1 المنهج المتبع:

من أجل الإلمام بالجوانب العلمية للموضوع والإجابة على إشكالية البحث فقد تم الاعتماد على المنهج الوصفي في عرض مضمون البحث من حيث التطرق إلى أهم التصورات الفكرية والموضوعات التي تحدد المفاهيم الدقيقة للمصطلحات الاقتصادية والاستراتيجية ذات العلاقة، وذلك من خلال الاستناد على المراجع التي تدعم هيكلية المتن العلمي وتثري تحليله.

4.1 الدراسات السابقة:

- الدراسة الأولى:

Boyun Guo and other, Petroleum Production Engineering : A computer-assisted approach , Elsevier Science & Technology Books, 2007.

يهدف البحث إلى تبيان أهمية استكشاف احتياطيات النفط والغاز والتي تندرج ضمن الإطار العلوي لصناعة النفط، وكذلك أنشطة الإنتاج التي تعد الجزء السفلي لهذه الصناعة كونها تقوم بتوصيل النفط والغاز إلى مصانع المعالجة وبذلك يعتبر الإنتاج قلب صناعة النفط، كما يوضح البحث مجال هندسة إنتاج البترول التي تركز على تعظيم إنتاج النفط والغاز بطريقة فعالة من حيث التكلفة، وتصميم واختيار المعدات المناسبة لأنظمة الإنتاج كونها تعد أمر ضروري لتحقيق هذا الهدف الوظيفي، وبالتالي يجب معرفة المبادئ والقواعد المستخدمة في الصناعة لتصميم المعدات واختيارها، ويعتقد الباحثون أن الطريقة الوحيدة للحصول على معدل إنتاج مرتفع للبئر هي زيادة سحب ضغط الإنتاج عن طريق تقليل ضغط قاع البئر باستخدام طرق الرفع الاصطناعي، كما تم توضيح نماذج وإجراءات تجريبية للقيام بتحليل بيانات انخفاض الإنتاج مع التركيز على استخدام برنامج UcomS.exe لتحديد النموذج وتحديد معلمة النموذج والتنبؤ بمعدل الإنتاج، وقد توصلت الدراسة الميدانية إلى أن تحسين الإنتاج مدفوع باقتصادات الإنتاج، مع الاستناد على دقة الحسابات التي تتطلب في كثير من الأحيان أجهزة محاكاة مع أدوات حل متزامنة.

دور بعض تقنيات هندسة الإنتاج في مستوى جودة المنتج: دراسة استطلاعية لآراء عينة من الأفراد العاملين في الشركة العامة لصناعات النسيج والجلود/بغداد

- الدراسة الثانية:

سعد سمير علي النعمة، دور بعض تقانات هندسة الإنتاج في مستوى جودة المنتج / دراسة استطلاعية لآراء عينة من الأفراد العاملين في الشركة العامة لصناعات النسيج والجلود - بغداد، رسالة ماجستير، كلية الإدارة والاقتصاد، جامعة الموصل، 2023. هدف البحث إلى توضيح تأثير بعض تقنيات هندسة الإنتاج (هندسة القيمة، الهندسة المتزامنة، إعادة هندسة العمليات، نظام الإنتاج في الوقت المحدد) في مستوى جودة المنتج (أداء الميزات، الموثوقية، المطابقة، المتانة، إمكانية الخدمة، الجمالية، الجودة المدركة) على مستوى الشركة العامة لصناعات النسيج والجلود في بغداد، وقد تلخصت الدراسة في دراسة عينة تتكون من 200 عامل ومعالجة المعلومات المحصل عليها باستخدام برنامجي SPSS و AMOS، وتوصل الباحث إلى نتائج تتعلق بتركيز الشركة على دقة التصميم وتحسين العمليات للتحكم أكثر في المنتجات المعيبة، مع وجود صعوبات تقنية ترتبط بالحصول على المواد الأولية عالية الجودة وكذا تقادم المعدات ونقص الخبرة ما يؤدي إلى تراجع مستوى الجودة المطلوب.

- مساهمة الدراسة:

ما يميز دراستنا الحالية على الدراستين السابقتين أنها تشتمل على قراءة استراتيجية للصناعة النفطية من حيث التقنيات المعتمدة في هندسة الإنتاج والتوريد، ومن حيث أنها تترجم كيفية توظيف الأدوات العملية في إنجاح مسار الهندسة الإنتاجية بين أهم الفاعلين في القطاع النفطي ومدى انعكاس ذلك على نجاح استراتيجية التصميم اللوجستي للشركات في بناء علاقاتها السوقية، وضمان استمرارية ثقة المستهلكين في تداول منتجاتها التقليدية والحديثة في سياق التطور الطاقوي والتغيرات الجغرافية.

5.1 محاور البحث:

تم تقسيم بحثنا إلى ثلاثة محاور مفصلية موضحة على النحو التالي:

- المحور الأول: مدخل عام إلى الصناعة النفطية؛
- المحور الثاني: استراتيجية العمليات الانتاجية؛
- المحور الثالث: هندسة سلسلة التوريد النفطية؛
- المحور الرابع: قوة أرامكو السعودية في مجال الاستكشاف والتطوير.

2. مدخل عام إلى الصناعة النفطية

شهدت الصناعة النفطية عدة مراحل تاريخية في تطورها بداية بمرحلة الإنتاج الطبيعي الذي يعتمد على الطاقة الطبيعية، إلى مرحلة الانتاج الثانوي، إلى غاية بلوغ مرحلة الإنتاج المدعم والتي سعت من خلالها الدول المنتجة السيطرة على الأسواق وتوجيهها، بيد أن الاقتصاد العالمي قائم على الطاقة النفطية في تطوير القطاعات وتشغيلها، ولذلك أبدت الشركات المهيمنة استعدادها للتنقيب على النفط واستخراجه بكل الطرق بما يخدم مصالحها القومية ويعزز من نفوذها.

1.2 تعريف النفط:

النفط عبارة عن لفظ لاتيني يتكون من (PETRO) ويعني الصخرة، و (OLEUM) ويعني الزيت، بمعنى الزيت المستخرج من الصخرة، ويعرف علميا على أنه: "ذلك السائل الهيدروكربوني الأسود أو المشوب بالبنية أو الصفرة أو الحمرة أو الخضرة الغليظ القوام الكريه الرائحة متعدد درجات اللزوجة يخرج من باطن الأرض ذاتيا أو صناعيا أو بواسطة حفر الآبار أو آلات الضخ" (فواز، 2021، صفحة 171)، ويستعمل النفط الخام أو البترول بالمعنى نفسه، ويتمثل من الناحية التقنية في المتكثف (مزيج البتانات والهيدروكربونات الثقيلة المستخلصة من مخازن النفط الخام)، كما يمكن أن تنتج المخازن غازات طبيعية سائلة هيدروكربونات سائلة خفيفة مثل: البروبان والبوتان، وتجدر الإشارة إلى أن إنتاج النفط الخام قد يتضمن الغاز الطبيعي السائل و/أو المتكثف، غير أن منظمة أوبك تستثني الغاز الطبيعي السائل والمتكثف من حصص إنتاج الدول الأعضاء، (شيفرين، 2005، الصفحات 37-39) ويسوق النفط الخفيف (كالبرنت، والنفط النيجيري وأنواع النفط الإفريقي) عادة بسعر يفوق سعر النفط الثقيل بالنظر إلى أنه تشتق منه عدة منتجات مكررة مثل: وقود الطائرات، ويشير الطن من النفط المكافئ إلى إنتاج أو استخدام أشكال من الطاقة الأولية مثل: الغاز أو الفحم أو الذرة أو الطاقة المائية بحيث يمكن مقارنتها مع النفط وفيما بينها. ومن بين الظروف الطبيعية التي تساعد على هجرة البترول نذكر ما يلي: (محاسنة، 2014، صفحة 16)

- انضغاط طبقات المنبع بسبب وزن الصخور يؤدي إلى دفع الموائع من خلال الشقوق إلى مناطق أقل ضغط أو عمق؛
- تأثير الجاذبية في فصل الغاز والنفط والماء الصخور المسامية المشبعة بالماء؛
- وجود فرق في الضغط بين النقطتين في وسط نفاذ؛
- الصدوع في الطبقات الأرضية تحت السطح ونتيجة الضغط المستمر لصخور المصدر يتم دفع النفط والغاز مع الماء المرافق إلى الخارج، وتتوقف حركته عندما تعترضه طبقة غير مسامية (صخور الغطاء) فيتجمع ويطلق عليه اسم الصخر الكمني أو الخازن.
- ومن الشائع أن الدول المنتجة للنفط (سواء الدول الأعضاء أو غير الأعضاء في منظمة أوبك) تحقق مصلحة زيادة إيراداتها في الأجل القصير وبذلك تعمل على تحقيق التوافق مع المستهلكين لضمان توريد نفطها، وعلى خلاف ذلك تعمل الدول المستهلكة على تفادي انقطاع توريده لتجنب الارتفاع الكبير في الأسعار، حيث أنها تحصن ذاتها من خلال فرض ضرائب عالية على الطاقة واستبدال النفط بالغاز الطبيعي المضغوط أو الطاقة النووية لتسيير بعض المعدات والهياكل بالنسبة للدول المنتجة للنفط يتعين عليها اختيار نوع النظام التعاقد في مجال الاستثمار النفطي وفق شروط اتفاقية تعاون تكون في شكل: (شيفرين، 2005، الصفحات 51-89)
- **اتفاقيات الترخيص أو الامتياز:** يعطي هذا الشكل من الاتفاقيات لشركة النفط الحق لفترة زمنية محددة في التنقيب، الإنتاج والبيع والتصدير، حيث غالبا ما تكون مشفوعة بعلاوات ومن بين الدول التي تعتمد على هذا النوع من العقود الكويت، السودان والاكوادور؛
- **المشاريع المشتركة:** نظرا لطبيعتها غير المحددة فإنها تعتبر عقود أقل شيوع بين الشركات النفطية المستثمرة والحكومة المضيفة، وتعتبر نيجيريا تجربة استثنائية في مجال العقود المشتركة إلى غاية أن أصبحت غير قادرة على الوفاء بالتزاماتها لتتوجه بعدها إلى نمط المشاريع المشاركة بالإنتاج؛
- **اتفاقيات المشاركة بالإنتاج:** استخدمت هذه الصيغة لأول مرة في إندونيسيا، وقد انتشرت على نطاق عالمي لاسيما في آسيا الوسطى ومنطقة القوقاز، وتنص على احتفاظ الدولة بملكية الموارد مع قدرتها على التفاوض بخصوص نظام تقاسم الأرباح من خلال السماح للشركات

الأجنبية بإدارة وتشغيل استثمار الحقول النفطية، مع تحمل الدولة بعض المخاطرة بينما تقع معظم المخاطر المالية للتنقيب والاستثمار على عاتق الشركة الأجنبية.

2.2 تصنيف النفط

يستعمل تقطير الزيت الخام للحصول على المنتجات النفطية، و عادة ما تختلف نسب التقطير عن نمط الطلب النفطي ما ينتج عنه تفاوت بين حجم المنتجات، حيث تبدأ عملية التقطير داخل أبراج التقطير (التجزئة) من خلال تبخير الزيت الخام باستثناء المقطرات الثقيلة جدا التي يتم تسخينها، ثم تمرر الأبخرة إلى أعلى البرج ليتكثف عندها المنتج، وتسحب بعدها المكثفات حسب خفتها (داغر، 2007، الصفحات 396-397)، أما بالنسبة لعمليات التكسير الحراري أو باستخدام العامل المساعد أو الهيدروجيني، فقد ابتكرت استجابة لطبيعة المحرك ذو الاحتراق الداخلي (اشعال شراري مثل: محرك البنزين، أو اشعال بالضغط مثل: محرك الديزل)، وفيما يخص عملية اصلاح البنزين البسيط الناتج عن عملية التقطير فيقصد بها زيادة قدرته على الاشتعال، وتصدر الإشارة إلى وجود عمليات أخرى في تصنيع المنتجات النفطية بما يتناسب والاستخدامات الخاصة مثل: الوقود، والمواد الخام الموجهة للصناعة البتروكيمياوية. ومن بين طرق الانتاج المطبقة في المكامن والمصائد البترولية تستخدم واحدة أو أكثر من الطرق التالية (العالم، 2022، صفحة 13):

- الانتاج بواسطة الطاقة الطبيعية الأولية: والتي تعتمد على قوة الدفع المائي أسفل الزيت، أو قوة الدفع الغازي فوق الزيت، أو قوة دفع الغاز المذاب في الزيت، أو قوة دفع تمدد السوائل وصخور المكمن، أو اجتماع بعض القوى السابقة معا؛
- الانتاج الثانوي: لتأمين طاقة الضغط في نظام موانع المكمن يتم توظيف قوة اصطناعية في شكل سوائل أو غازات كحقن المياه أو الغازات؛
- الانتاج المدعم: من خلال استخدام الطرق الكيميائية، الحرارية، حقن الغاز والمذيبات مع النفط.

3.2 مراحل النشاط في قطاع البترول

- تتعدد مراحل النشاط البترولي بدء بالبحث والاستكشاف، ثم الاستخراج والانتاج، مروراً بالتصنيع والتكرير، إلى غاية التسويق والتوزيع، ويبدأ النشاط في هذا القطاع انطلاقاً من المراحل التالية (توفيق، 2014، الصفحات 15-24):
- الدراسة المبدئية للمنطقة القابلة للاستغلال: تتم هذه المرحلة من خلال دراسة الظروف والعوامل التاريخية المحيطة بالمنطقة محل الاستكشاف البترولي، بالاعتماد على رسم الخرائط التوضيحية للتعرف على مكان تواجد البترول؛
 - الحصول على الامتيازات الحكومية: عند التأكد من وجود البترول في منطقة البحث، تعرض شركة التنقيب نتائج الدراسة المبدئية على الجهات المختصة للحصول على ترخيص البحث والاستكشاف بموجب الاتفاقية الموقعة بين الطرفين، وكذا الحصول على عقد الامتياز لمزاولة الاستغلال وأعمال الحفر الانتاجية، تركيب الآلات، واستخراج البترول؛
 - البحث والاستكشاف: تلتخص أعمال هذه المرحلة فيتحديد مجال وأبعاد مناطق تواجد البترول بدقة من خلال عمليات المسح الجيولوجي، المسح الجوي، المسح الجيوفيزيقي والحفر الاستكشافي، وذلك لاختيار الأسلوب المناسب لحفر الآبار والتنقيب نظراً لاختلاف طبيعة المصائد بين السطحية وتحت الماء، بحيث يتم التركيز على اختبارات تقدير الكميات الانتاجية للآبار سيما تلك القريبة من الأحواض البترولية للبدء في حفر الآبار الاستكشافية والتأكد من امكانية الاستغلال التجاري لها؛
 - التنمية: بعد التأكد من وجود معتبر للبترول يتم الحفر المتخصص للآبار الانتاجية باستخدام الحفارات، وتركيب مواسير التغليف لتجنب انهيار الآبار، ثم تركيب المعدات لرفع البترول الخام من باطن الأرض ومعالجة الزيت الخام ونقله وتخزينه في خزانات مخصصة لذلك،

كما يتم فصل الزيت عن الغاز ومعالجته كيميائيا أو طبيعيا، إضافة إلى تشييد المرافق الضرورية بما في ذلك مساكن العاملين، ورشات الصيانة، المطارات ومد خطوط أنابيب نقل الزيت؛

- **التشغيل والانتاج:** تتم في هذه المرحلة عملية الإنتاج الفعلي من خلال طريقتين هما: طريقة الضغط الطبيعي للغاز في حالة ارتفاع الضغط في منطقة الاستغلال، وطريقة ضخ المياه في حالة انخفاض معدل الضغط الطبيعي، ليتم فصل الزيت عن الغاز في المرحلة الموالية؛

- **التكرير والتصنيع:** تقوم هذه المرحلة على تكرير الزيت الخام وتصنيع المنتجات أو المشتقات وما يصاحبها من تنقية مثل: غاز الميثان، البيوتان، البنزين، الكيروسين، الديزل، الفحم البترولي وغيرها من المنتجات؛

- **التسويق والتوزيع:** وهي آخر حلقة في النشاط البترولي، حيث أنها تختص بعمليات استلام، تخزين، وتوزيع المنتجات البتروولية مثل: الغاز الطبيعي والكيماويات عن طريق منافذ البيع المختلفة، بما يستدعي تقديم الخدمات الفنية والتخزينية، وامتلاك أو تأجير المنشآت ومعدات النشاط، مع التركيز على خدمة النقل بتوظيف الوسائل المختلفة كالناقلات الضخمة، السكك الحديدية، خطوط الأنابيب والتي تعتبر هذه الأخيرة من أرخص وسائل نقل الزيت الخام، الغاز، والمنتجات البتروولية.

3. استراتيجيات العمليات الانتاجية

يرتب الإنتاج كوظيفة استراتيجية في هيكلية البنية التحتية لصناعة النفط، ومما لاشك فيه أن التخطيط الدقيق لنقل النفط إلى ورشات المعالجة بالحجم والنوع المطلوب يشكل مدخل مهم لتصميم العملية من حيث منهجية العمل وأداة تنفيذ إحدى استراتيجيات الإنتاج التالية: المهندسة للأمر، الإنتاج للأمر، التجميع للأمر، أو الإنتاج للتخزين، بما يؤدي إلى استمرارية نشاط سلسلة التوريد وتعاضل قيمتها.

1.3.1 تخطيط الإنتاج في سلاسل التوريد:

يشير تصميم العملية الانتاجية إلى نمط التدفق في عمليات الإنتاج، بما يتوافق وتسريع وتيرة تدفق المواد عبر سلسلة التوريد بكفاءة ودرجة مرونة عالية، ويركز تصميم العملية الانتاجية على دعم إدارة سلسلة التوريد في تحديد أفضل مسارات التتابع لتدفق العملية التصنيعية (أو الخدمية) بداية باستلام أمر الزبون، وصولا عند تنفيذه من خلال التدفقات المرنة للموارد عن طريق سلسلة التوريد الكلية للمؤسسة (الرفيعي، الصفحات 57-58)، ويعتمد نجاح سلسلة التوريد التصنيعية على قدرتها على الدقة من خلال توقع طلبات العملاء وإنتاجها في الوقت المناسب لتلبية تلك الطلبات، وبالتالي فإن التنبؤ هو نقطة البداية لمعظم قرارات إدارة سلسلة التوريد، وبناء على توقعات الطلب يتم إجراء التخطيط الكلي للإنتاج، بحيث يتبع توزيع الموارد (المعدات، العمالة، إلخ) وتخصيصها والذي يسمى أيضا بتخطيط متطلبات المواد عموما لخطة الإنتاج الكلي، وفي سياق ذلك تشكل التوقعات أساس تخطيط الإنتاج في سلسلة التوريد، إذ تعتمد الخطط الاستراتيجية (على سبيل المثال، مكان تواجد المصانع والمستودعات وما إلى ذلك) على توقعات تغطي عدة سنوات، وبالتالي يؤثر التنبؤ بالطلب على العديد من جوانب سلسلة التوريد كالتصميم والتخطيط والعمليات، ويمثل التوقع ببساطة أفضل تقدير لمتغير عشوائي (الطلب، السعر، إلخ) بناء على المعلومات المتاحة، ويختلف التنبؤ عن تقدير احتمال توزيع الطلب لأن توزيعات الطلب قد تتغير خلال أفق التنبؤ، كما يتعامل التنبؤ مع البيانات غير الثابتة عن طريق تقدير معنى توزيع الاحتمالات في وقت معين، وتكون بعض السمات المشتركة من التوقعات على النحو التالي (Jr, 2013, pp. 27-28):

- التوقعات خاطئة بشكل عام، ذلك أن التوقعات عبارة عن تقديرات للمتوسط بحيث قد يكون المتغير العشوائي (الطلب، السعر، إلخ) والنتائج الفعلية مختلفة جدا؛

- التوقعات الإجمالية أكثر دقة على اعتبار أن توقعات الطلب لمجموعة المنتجات بأكملها تكون أكثر دقة مقارنة بتلك المصنوعة لكل فرد من عائلة المنتج؛

- تزداد أخطاء التنبؤ مع أفق التنبؤ حيث أن توقعات الطلب ستكون الشهر المقبل أكثر دقة من تلك الخاصة بالعام المقبل؛
- مبدأ التخلص من القمامة - مصدر ودقة البيانات المستخدمة للتنبؤ مهمة للغاية؛
- ويتم استخدام توقعات الطلب من قبل جميع وظائف الأعمال، وفيما يلي بعض الأمثلة:
- المحاسبة: تقديرات التكلفة / الربح؛
- التمويل: التدفقات النقدية وقرارات الاستثمار؛
- الموارد البشرية: التوظيف / التجنيد / التدريب؛
- التسويق: تخصيص قوة المبيعات واستراتيجية التسعير والترويج؛
- العمليات: خطط الإنتاج، تخطيط متطلبات المواد، وأعباء العمل.

2.3 التصميم الهندسي واستراتيجيات العملية الإنتاجية:

- التصميم الهندسي

تنطبق المبادئ ومنهجيات هندسة النظام على مجموعة كبيرة ومتنوعة من الأنظمة بدءاً من أنظمة الإنتاج مثل: المصانع وسلاسل التوريد، إلى أنظمة الخدمات مثل: تقديم الرعاية الصحية والنقل، ويتكون التصميم الهندسي من عدة مراحل في معظم التخصصات الهندسية بينما تختلف التفاصيل فيما بين هذه التخصصات، حيث يتم تحديد مراحلها بشكل يسمح باتخاذ قرارات التصميم الهندسي للتقدم نحو إنشاء الأداة على النحو التالي (Goetschalckx, 2011, pp. 15-16):

✓ **تعريف المشكلة:** يتم اتخاذ القرارات فيما يتعلق بالحدود في مجال التصميم، أي أن ما يمكن وما لا يمكن أن يتحكم فيه التصميم هو الجهد، كما يتم تحديد معايير الأداء ذات الصلة؛

✓ **التصميم المفاهيمي:** تكون المكونات المختلفة والوظائف المرتبطة بها مُعرفة؛

✓ **التصميم التفصيلي:** يحدد التنفيذ المادي للمكونات وكذلك تفاعلاتها وخصائص أدائها؛

✓ **مواصفات التصميم والتنفيذ:** تمكن من تطوير الأداة وفقاً لمواصفات إنشاء المستندات التي تتواصل بالأداة بتفاصيل كافية.

- استراتيجيات العملية الإنتاجية

تعرف استراتيجيات العمليات على أنها: "مجموعة من القرارات المتعلقة بهيكل نظام الإنتاج، بما في ذلك الأنظمة والسياسات التي تحدد البنية التحتية للشركة"، وحسب (Schroeder) فإن استراتيجيات العمليات تتعلق بجانبين أساسيين هما (Goetschalckx, 2011, pp. 69-73-77):

✓ **محتوى استراتيجيات العمليات:** يشمل قرارات وأفعال محددة تخص أدوار العمليات وأهدافها ونشاطاتها؛

✓ **العملية:** تمثل الطريقة المستخدمة لاتخاذ القرارات المحددة في مستوى معين. ومن أهم مراحل تطوير استراتيجيات العمليات تحويل

الاستراتيجيات التنافسية إلى قرارات تركز تلخص "كيفية تنظيم الموارد سواء بالتركيز على العملية أو على المنتج أو ما بينهما".

ويعد الإنتاج أحد الأنشطة الأساسية في سلسلة التوريد، كونه يعتبر حلقة وصل بين التخزين والتوزيع في ضمان التنسيق الدائم

لحركة المواد وتحويلها إلى منتجات نهائية تتوافق مع متطلبات الزبون، وفي هذا الصدد وضع كل من أرنولد وشامبان أربعة استراتيجيات

للعملية الإنتاجية تتمثل في (العبادي، 2013، الصفحات 55-57):

- **الهندسة للأمر:** تتطلب المواصفات المحددة من طرف الزبون تصميم هندسي متميز يتوافق وطلبه المسبق، ذلك أن الزبون يكون ملما بصورة شاملة عن تصميم المنتج، كما يتأثر شراء المخزون بدرجة الحاجة إلى الإنتاج فقط، وبذلك تطول فترة الانتظار لارتباطها بوقت انتظار الشراء فقط من جهة وبوقت انتظار التصميم من جهة أخرى؛
- **الإنتاج للأمر:** لا تبدأ العملية الانتاجية إلا باستلام المؤسسة أمر الزبون، ومن خصائص المنتج النهائي أنه غطي في مكوناته، غير أنه يشتمل أيضا على مكونات مصممة حسب الطلب، ووفق هذا النمط الإنتاجي يقل وقت انتظار التسليم نظرا لبساطة التصميم المطلوب، ويتوفر المخزون كمواد خام؛
- **التجميع للأمر:** يتكون المنتج من أجزاء غطية يمكن تخزينها من طرف الجهة المنتجة ليتم تجميعها فيما بعد طبقا لأمر الزبون، وفي هذه الحالة يقل وقت انتظار التسليم أكثر لعدم وجود وقت تصميم مطلوب مع وجود مخزون قابل للتجميع، كما يكون شمول الزبون محدودا في عملية التصميم؛
- **الإنتاج للتخزين:** في هذه الحالة يقوم المجهز بإنتاج المنتجات النهائية وبيعها من المخزون، وبذلك يقل وقت التسليم نظرا لأن الزبون أقل شمول مباشر في عملية تصميم المنتج.

4. هندسة سلسلة التوريد النفطية

تشمل هندسة سلسلة التوريد على تحديد النقاط الحرجة في إنشاء مراكز التوزيع والإنتاج من حيث عدد المستودعات ونوعها لإضفاء نوع من التكامل الوظيفي بين الإنتاج والتسويق ودعم الخدمات اللوجستية بما يفي بمتطلبات السوق كما ونوعا بأعلى مستوى من الربحية والأداء، مع مراعاة جودة استراتيجية التصميم اللوجستي التي تتأثر بكل من: تصميم العملية، تصميم الشبكة، تصميم أنظمة المعلومات، وبناء الهيكل التنظيمي.

1.4 أنظمة سلاسل التوريد:

سلسلة التوريد هي شبكة المنظمات الوظيفية التي تؤدي الوظائف اللوجستية من خلال أنشطتها، وتشمل هذه الوظائف شراء المواد، وتحويل المواد والمنتجات الوسيطة إلى منتجات وسيطة وتامة الصنع. وتكون سلاسل التوريد موجودة في كل من منظمات التصنيع والمنظمات الخدمية، ويمكن أن تختلف سلاسل التوريد اختلافا كبيرا في التعقيد من صناعة إلى صناعة ومن شركة إلى أخرى، وبسبب انتشار سلاسل التوريد على نطاق واسع توجد العديد من التعريفات البديلة لسلسلة التوريد، حيث أنه بسبب التركيز الحالي للشركات على الكفاءات الأساسية، عادة ما يكون هناك العديد من المنظمات المختلفة النشطة في سلسلة التوريد، وإذا كانت كل هذه المنظمات تنتمي إلى نفس الشركة (شركة متعددة الجنسيات)، فعادة ما تكون تدفقات المعلومات أكثر شمولية ومنهجية، وتكون هندسية اتخاذ القرار على أساس أسهل، ومع ذلك فإن الطبيعة الأساسية لعرض السلسلة لا تتغير مع عدد الشركات المشاركة، وبعبارة أخرى لا يوجد اختلاف في تعريف سلسلة التوريد اعتمادا على حقيقة ما إذا كانت شركة واحدة أو أكثر مسؤولة عن تنفيذ الوظائف اللوجستية، وحتى تكون الشركة وتظل جزء من سلسلة التوريد يتطلب الأمر أن يكون لذلك علاقة مفيدة أو وضع مربح للجانبين على المدى الطويل لكل منها وللشركات الأخرى في سلسلة التوريد، وتوجد مجموعة كبيرة ومتنوعة من تطبيقات سلسلة التوريد، ومن الأمثلة في مجال تصنيع وتوزيع بضائع المستهلك، أو تجميع البضائع بكميات محدودة نذكر: صناعة الطائرات والقاطرات (Goetschalckx, 2011, pp. 495-496)، أو بناء مراكز التحويل الهاتفية، غير أن سلاسل التوريد في الصناعات الخدمية تأخذ شكل شبكات المستشفيات ومقدمي الخدمات والوظائف وموقع المنافذ المصرفية، والشبكات المحورية من قبل شركات الطيران الكبرى لتقديم مقاعد الرحلات الجوية، أما في مؤسسات الدفاع تتوافق سلاسل التوريد مع الأفراد والمعدات، وقواعد وظائفها ومواقعها، ويبقى الهيكل الأساسي لأي شبكة

سلسلة توريد قائم على أساس الإنتاج المكثف والتخزين والنقل المكثف لتزويد العملاء بالخدمات عن طريق التسليم في الوقت المناسب للسلع والخدمات للعملاء بأقل تكلفة ممكنة.

وتشمل هندسة سلسلة التوريد الأنشطة الرئيسية التالية للإدارة الفعالة لسلسلة التوريد:

- تصميم شبكة سلسلة التوريد: أي موقع المصانع، ومراكز التوزيع، والمستودعات، وما إلى ذلك؛
- شراء المواد الخام: والأجزاء من الموردين في مواقع التصنيع؛
- إدارة الإنتاج: وجدد البضائع التامة الصنع لتلبية طلبات العملاء؛
- إدارة شبكة النقل والخدمات اللوجستية: لتسليم المنتجات النهائية للمستودعات وتجار التجزئة؛
- إدارة سلامة شبكة سلسلة التوريد: عن طريق تخفيف اضطرابات سلسلة التوريد على جميع المستويات.

كما تندرج أيضًا معظم هذه الأنشطة التي تدخل في هندسة سلسلة التوريد تحت عنوان إدارة سلسلة التوريد، وقد عرّف (2001) Chopra and Meindl إدارة سلسلة التوريد بأنها "إدارة التدفقات بين مراحل سلسلة التوريد وفيما بينها لتحقيق أقصى قدر من ربحية سلسلة التوريد" (Jr, 2013, pp. 4-5)، ومن بين التعاريف الأكثر اكتمالا لإدارة سلسلة التوريد بواسطة Simchi-Levi وآخرون (2003) والذي ينص على أن: "إدارة سلسلة التوريد عبارة عن مجموعة من الأساليب المستخدمة لدمج الموردين، المصنعين، المستودعات، والمخازن بكفاءة، بحيث يتم إنتاج البضائع وتوزيعها بالكميات المناسبة في المواقع الصحيحة، وفي الوقت المناسب لتقليل التكاليف على مستوى النظام مع تلبية الخدمة"، ويبرز هذا التعريف جميع الجوانب الرئيسية لإدارة سلسلة التوريد بما في ذلك الهدفين المتضاربين في إدارة سلسلة التوريد والمتمثلين في تقليل تكاليف سلسلة التوريد مع تعظيم خدمة العملاء في نفس الوقت، ومع ذلك فهناك فرق مهم بين هندسة سلسلة التوريد وإدارة سلسلة التوريد وهو التركيز في هندسة سلسلة التوريد على تصميم شبكة سلسلة التوريد واستخدام النماذج والطرق الرياضية لتحديد الاستراتيجيات المثلى لإدارة سلسلة التوريد، ويكون التركيز على النماذج الرياضية بشكل منطقي نظرا للتصميم المعقد النسبي في نظام الترابط والتدفقات التي تنقل السلع والمعلومات في جميع أنحاء العالم، وما لا شك فيه أن التجارة أصبحت عالمية النطاق بشكل متزايد على مدى العقود العديدة الماضية، وقد أدى هذا الاتجاه نحو العولمة في عرض السلاسل التي غالبا ما تكون بصمتها ضخمة، وتمتد إلى عدة بلدان وقارات حيث أصبحت المنتجات والأموال تتدفق بانتظام عبر الحدود الدولية لتصبح بذلك هندسة سلسلة التوريد العالمية غير عملية أو على الأقل غير مستحسنة دون استخدام نماذج رياضية معقدة.

2.4 تقنيات الهندسة الصناعية في سلسلة التوريد:

نظرا للمنهجيات المتنوعة والمرنة والشاملة القائمة على منهجيات الهندسة الصناعية، يقدم الانضباط أفضل وجهات النظر والأساليب للتعامل مع التحديات التي تواجه سلسلة التوريد سواء كانت التحديات ناتجة عن سوء جدولة الإدارة، أو اضطرابات غير متوقعة، أو حوادث عرضية، أو عمليات إغلاق مخططة، أو التخريب المتعمد، لكن غالبا ما يمكن معالجة كل حدث كارثي من خلال منهجيات متعددة ومتكاملة للهندسة الصناعية، وقد كان لهذه الأخيرة لعقود من الزمن علاقة عملية مع ما يعرف الآن باسم سلسلة التوريد والخدمات اللوجستية، حيث كان يطلق على اللوجيستيات في المرحلة الأولى اسم "التوزيع المادي" من قبل المهندسين الصناعيين، وغالبا ما يفكر المستهلكون بشكل خاطئ في سلسلة التوريد على أنها ممثلة بجوانب النقل والتوزيع لتوفير المنتجات والخدمات والنتائج المرجوة، غير أنه في الواقع العملي تتضمن سلسلة التوريد كلا من مكونات المنبع والمصب، وفي هذا الصدد فإن نهاية الإنتاج (المصدر) للطيف لا تقل أهمية عن مكونات النقل والتوزيع (الوجهة).

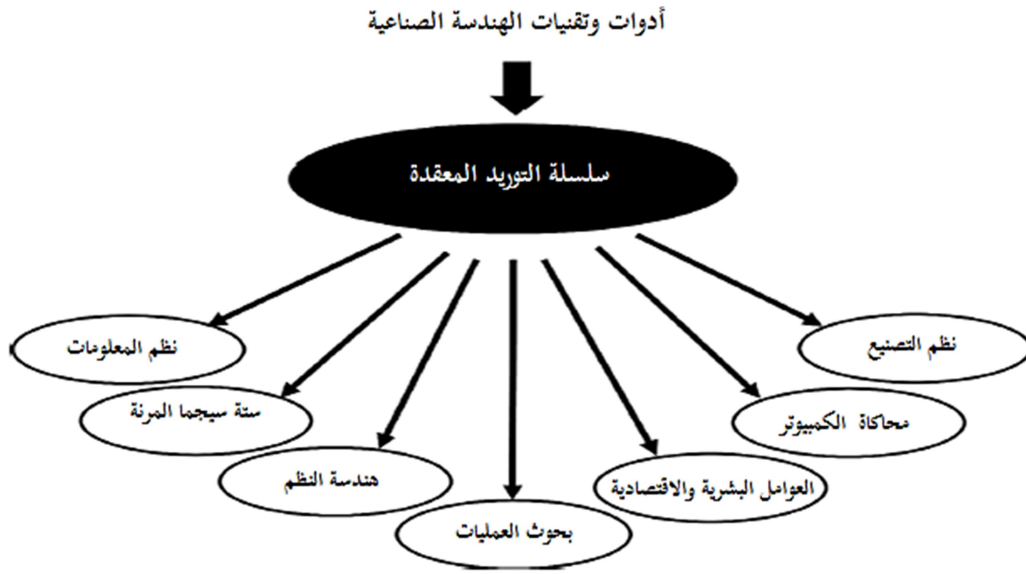
وما يجعل الهندسة الصناعية قابلة للتطبيق بشكل كبير على مجموعة متنوعة من مشاكل سلسلة التوريد هو أن حقيقة النظام يواجه بشكل مباشر من يزود من، وبماذا ومتى وأين وكيف ولماذا، ويغطي النهج نطاق ما يمكن أن يحدث ويعزز بشكل استباقي

التخطيط للطوارئ، بحيث يهتم المهندس الصناعي بتصميم وتركيب وتحسين الأنظمة المتكاملة للأشخاص والمواد والمعلومات والمعدات والطاقة من خلال الاعتماد على المعرفة والمهارات المتخصصة في العلوم الرياضية والفيزيائية والاجتماعية، جنباً إلى جنب مع المبادئ وطرق التحليل والتصميم الهندسي لتحديد وتوقع وتقييم النتائج التي سيتم الحصول عليها من هذه الأنظمة، ولقد دعا القادة لعدة عقود إلى الانضباط في الهندسة الصناعية لتحقيق فعالية البرامج والكفاءات التشغيلية، ويعتبر ذلك مهم بشكل خاص لأن العمليات والوظائف تتشكل من خلال ربط الأنظمة، ويمكن أن تشمل الوظائف الرئيسية للمهندسين الصناعيين على ما يلي : (Badiru, 2022, pp. 31-32-33)

- تصميم أنظمة متكاملة للأشخاص والتكنولوجيا والعملية والأساليب؛
- عمليات النمذجة لتحسين مفاضلات التكلفة والجودة والأداء؛
- تطوير نمذجة وقياس وتقييم الأداء للأنظمة؛
- تطوير معايير الجودة والمحافظة عليها للحكومة والصناعة والأعمال؛
- تطبيق مبادئ الإنتاج لمتابعة التحسينات في المنظمات الخدمية؛
- دمج التكنولوجيا بشكل فعال في إجراءات العمل؛
- تطوير استراتيجيات التخفيف أو التجنب أو الاحتواء؛
- تحسين الإنتاجية الإجمالية للأنظمة المتكاملة للأفراد والأدوات والعمليات؛
- تخطيط وتنظيم وجدولة ومراقبة البرامج والمشاريع؛
- تنظيم الفرق لتحسين كفاءة وفعالية المنظمة؛
- تنصيب التكنولوجيا لتسهيل سير العمل؛
- تعزيز تدفق المعلومات لتسهيل التشغيل السلس للأنظمة؛
- تنسيق المواد والمعدات لتحقيق أداء فعال للأنظمة؛
- تصميم أنظمة عمل للتخلص من الفاقد وتقليل التباين؛
- تصميم الوظائف (تحديد الطريقة الأكثر اقتصادية لأداء العمل)؛
- تحديد معايير الأداء المعيارية للجودة والكمية والتكلفة؛
- تصميم وتركيب المرافق لدمج العوامل البشرية وبيئة العمل.

وبشكل شامل يمكن وصف الهندسة الصناعية بأنها التطبيق العملي لمجموعة المجالات الهندسية جنباً إلى جنب مع مبادئ الإدارة العلمية، فهي عبارة عن هندسة عمليات العمل وتطبيق الأساليب والممارسات والمعرفة الهندسية على مؤسسات الإنتاج والخدمات، بحيث تركز الهندسة الصناعية على فهم العمال واحتياجاتهم من أجل زيادة وتحسين أنشطة الإنتاج والخدمات، ومن أجل فهم أفضل نوضح من خلال الشكل أدناه كيف تعمل الهندسة الصناعية كنظام شامل للعديد من التخصصات الفرعية والتي تنطبق مباشرة على أي سلسلة توريد معقدة، وعليه فإن المهارات المتنوعة للمهندسين الصناعيين مطلوبة للغاية بحيث يتم السعي وراءهم كمهندسين لتحسين العمليات في المستشفيات ومؤسسات البيع بالتجزئة والبنوك وقطاعات الخدمات المالية العامة، ويمكن اعتبار "الصناعة" في الهندسة الصناعية بمثابة تطبيق المهارات والإبداع لتحقيق أهداف العمل، ويتعلق ذلك بكيفية تسخير الجهد البشري بشكل مبتكر لتنفيذ العمل، ويشمل عرض أنظمة الهندسة الصناعية جميع التفاصيل والجوانب اللازمة لتطبيق المهارات والذكاء لإنتاج العمل بكفاءة.

الشكل 1: أدوات الهندسة الصناعية في مجال سلاسل التوريد المعقدة



Source : (Badiru, 2022, p. 33)

3.4 التخطيط الهندسي لسلسلة التوريد العالمية في المجال النفطي:

يعد التغيير بين المكونات اللوجستية والمهام المحددة داخل الشركة مدخل أساسي لوضع التصميم المادي الملائم، علماً أن استراتيجية التصميم اللوجستي تتأثر بكل من: تصميم العملية، تصميم الشبكة، تصميم أنظمة المعلومات، وبناء الهيكل التنظيمي الملائم، بما يشتمله تصميم العملية من عمليات أساسية من دونها تقع الشركة النفطية في أزمات تجارية (شراء المدخلات المهمة بما في ذلك أنابيب النقل والتطور التكنولوجي المطلوب)، وعمليات قياسية هامة للتعامل من حيث درجة المحاكاة المقبولة في السوق، أو عمليات تنافسية تؤثر بشكل مباشر على درجة الأداء ونجاح الشركة اللوجستي، وتجدر الإشارة إلى أن التصميم اللوجستي يمكن أن يخضع لإعادة التصميم في حالة وجود انحراف في الأداء وظهور الفجوات وذلك بالاستناد على أدوات مختلفة نذكر منها: الحيدود السداسي، تحليل باريتو، التحليل الدقيق، تحليل الوقت / القيمة، ويعتبر الموقع الجغرافي عامل حاسم للإمداد في التصميم ذلك أن سلسلة التوريد تتأثر بدرجة توقع طلب السلع، حيث يتم توريد السلع الأساسية المتوقع طلبها بدرجة سريعة من النقل من خلال موردين منخفضي التكلفة في مناطق معزولة من العالم كجزء من الاتجاه الضعيف لتطوير العملية اللوجستية، في حين يكون التوريد غير المتوقع للسلع المطلوبة محلياً لمواجهة الطلب خلال مدة زمنية قصيرة بشكل بطيء كجزء من الاتجاه المرن في سياق التخطيط الجيد لشبكة الخدمات اللوجستية (خضر، 2022، الصفحات 123-25)، ويجب التركيز أكثر على الأعمال فيما يتعلق بقرار تحديد أعداد المستودعات ومواقع مراكز التوزيع، ذلك أن ضمان التدفق الكافي للمنتجات من المصدر إلى المصب يعتمد بصورة أكبر على تحليل تحديد المصدر، والذي يمكن أن يحقق نتائج مبهرة من خلال عمليات الاندماج أو الاستحواذ والتي يمكن حصرها في إنشاء مزيج أنسب للتخزين والنقل بمستوى محدد لخدمة العملاء يتناسب ونسبية المركزية المنتهجة في الشركة والتي يترتب عنها تبعية مجموعة مخازن لامركزية (فرعية، مساعدة، مناولة، وخاصة) إلى مخزن مركزي، كما تجدر الإشارة إلى أن هناك علاقة وثيقة بين التخزين والتصميم الهندسي من حيث مضمون الاستشارة بخصوص تقادم مواصفات الأنواع القابلة للاستخدام وقابلية توظيفها في التصميم الجديد، أو تأجيل استعمالها، أو التخلص منها (وآخرون، 2014، صفحة 270، 281)، ويضفي ذلك تطوير الهيكل الإداري المتعلق بالعملية ما يترتب عنه الانتقال من التصور التقليدي لعلاقة البائع بالمشتري والذي يأخذ صورة فراشة إلى نهج متعدد العلاقات في صورة معين هندسي.

ومن جهة أخرى يجب مراعاة ثلاثة مستويات: تكتيكية، وسيطة، واستراتيجية في حل المشكلات التي يتم مواجهتها في تصميم وعمليات الشبكات اللوجيستية المعقدة، حيث أنه يجب على الشركة على المستوى الاستراتيجي الإجابة على العديد من أسئلة التصميم مثل (Jones, 2020, pp. 32-49):

- ✓ كم عدد المرافق المطلوب بناؤها أو تأجيرها؛
 - ✓ مكان بنائها أو تأجيرها؛
 - ✓ العملاء الذين تخدمهم الشركة؛
 - ✓ أجزاء شبكة النقل للاستعانة بمصادر خارجية لخدمات الشركات اللوجستية من طرف ثالث؛
 - ✓ الأجزاء المطلوب الاحتفاظ بها في الشركة؛
 - ✓ عدد الشاحنات المطلوب امتلاكها؛
- ونظرا لأن هذه العوامل تتغير باستمرار، يجب على الشركة أيضا تحديدها على المدى المتوسط وقصير المدى (التكتيكي) من حيث:

- ✓ عدد وماهية نقاط إعادة الشحن للعمل؛
 - ✓ عدد وسائل النقل الخاضعة للصيانة مثل: الشاحنات؛
 - ✓ متطلبات توظيف السائقين، واختيار الطريق، ومواقع المخزون، ونقاط إعادة الطلب، وغيرها.
- تسعى العمليات المختلفة إلى تقليل تكلفتها إلى الحد الأدنى، أو زيادة أرباحها إلى الحد الأقصى، ونقل أوجه القصور إلى العملية التالية، فعلى سبيل المثال يتخذ مدير المستودع قرارا على المستوى التكتيكي بحيث قد يسعى من خلاله إلى تقليل استقبال العمالة وإنشاء قائمة انتظار كبيرة من المقطورات الواردة (مستوى قرار متوسط) لانتظار التفريغ، وقد يقوم مدير النقل (المتوسط) أيضا بوضع خطط تحميل المقطورة بحيث تتطلب تشغيل كل مقطورة باب رصيف للمنشأة، خلق حاجة حتمية إلى أكبر مرفق (قرار على المستوى الاستراتيجي)، ليظهر تأثير السوط على المخزون من خلال المخزون الزائد في المستودعات (التكتيكية) بسبب عدم الثقة في التنبؤات التي تقدمها مبيعات الشركات (الاستراتيجية)، أما بالنسبة لتقييم تأثير الاستدامة وجودة خطوط الأنابيب على النفط الخام العالمي فقد تم تعديل نموذج منحنى الكفاءة لمقارنة سلسلة توريد النفط الخام بين إندونيسيا وروسيا وكولومبيا استنادا إلى مسافات نقل النفط والتكلفة المرتبطة بها وتكاليف المصفاة والتكاليف المرتبطة بها مع استدامة المصفاة وجودة خطوط الأنابيب الموضحة في نمذجة سلسلة التوريد، ومع ذلك فقد تم استخدام هذا النموذج في الأصل لتحديد المواقع المثلى لمراكز التوزيع على أساس تكلفة النقل وقدرة البلدان النامية، ولقد تم تعديله للسماح باستخدام التكاليف المختلفة المرتبطة بحالة جودة خط الأنابيب وتكاليف استدامة المنشأة الصديقة للبيئة، حيث تستخدم هذه الحالة لتحسين التكلفة الإجمالية لسلسلة توريد النفط لأندونيسيا وروسيا وكولومبيا.

5. قوة أرامكو السعودية في مجال الاستكشاف والتطوير

1.5 برنامج عمل شركة أرامكو في إطار رؤية 2030:

تنتج أرامكو اليوم ما يقرب من واحد من كل ثمانية براميل من إمدادات النفط الخام في العالم، وتؤمن الشركة لإمانا راسخا بأنه مع نمو عدد سكان العالم واقتصادات خاصة في بعض البلدان النامية الرئيسية مثل: الصين والهند، سيترب عليه الزيادة في مستويات

المعيشة، وبالتالي ستظل الطاقة فرصة أساسية لأرامكو، و تدرك الشركة في الوقت نفسه المخاوف العالمية الناشئة عن انبعاثات الوقود الأحفوري والاحتباس الحراري واتجاه استخدام الطاقة المتجددة، وترتكز أعمال الشركة على التكلفة المنخفضة بالنسبة لنفطها في المنبع، وبذلك تمضي أرامكو السعودية قدما لاتخاذ خطوات لالتقاط وخلق قيمة من الهيدروكربونات التي تنتجها، وتحقيقا لهذه الغاية يفتح التكرير النهائي لقطاع البتروكيماويات فرصا للنمو العضوي والشراكات المحلية والدولية مع الشركات الرائدة لخلق أعمال لموردي الخدمات والمواد السعوديين في سلاسل التوريد المحلية، وكذلك خلق فرص عمل جديدة تعتبر بمثابة أهداف مهمة لرؤية 2030، وبذلك تعمل أرامكو السعودية على توسيع "بصمتها" في مواقع جديدة في الخارج وتوسيع قدراتها البحثية وتحالفاتها، وقد واصلت الشركة بناء قدرتها الإنتاجية لتبلغ حوالي 15 مليون برميل يوميا وهي القدرة الانتاجية الأكبر في العالم، إضافة إلى توسعها في صناعة البتروكيماويات لتكون من بين أكبر ثلاث شركات بتروكيماويات عالميا، ومن أجل دعم مشاريعها العالمية في مجال التكرير والبتروكيماويات، استثمرت أرامكو السعودية في مشاريع الصيانة الكبيرة في مجال التنقيب والإنتاج وتوسيع الحقول الجديدة، سواء في البر أو البحر، أو في مجال النفط والغاز والذي يعتبر مادة خام حيوية لمشاريعها البتروكيماوية، وقد ضمن ذلك الحفاظ على مستويات إنتاج أرامكو السعودية على أساس مستدام كما هو مذكور في الجدول التالي: (Ramady, 2018, pp. 25-26)

الجدول 1: إنتاج أرامكو السعودية للنفط والغاز 2011-2016

القسم	2011	2012	2013	2014	2015	2016
النفط (أ)						
إجمالي إنتاج النفط الخام (مليون برميل)	3310	3479	3433	3480	3708	3828
متوسط إنتاج النفط الخام (مليون برميل يوميا)	9.1	9.5	9.4	9.5	10.2	10.5
الغاز (ب)						
الغاز الخام المعالج (مليار قدم مكعب من القدم القياسي)	9.9	10.7	11.0	11.3	11.6	12.0
إنتاج غاز المبيعات (مليار قدم مكعب من القدم اليدوي)	6.8	7.3	7.5	7.8	8.0	8.2
إنتاج الإيثان (مليون قدم مكعب في اليوم)	792	851	796	809	794	920
NGL من الهيدروكربونات (مليون برميل)	461	482	456	471	474	497.5

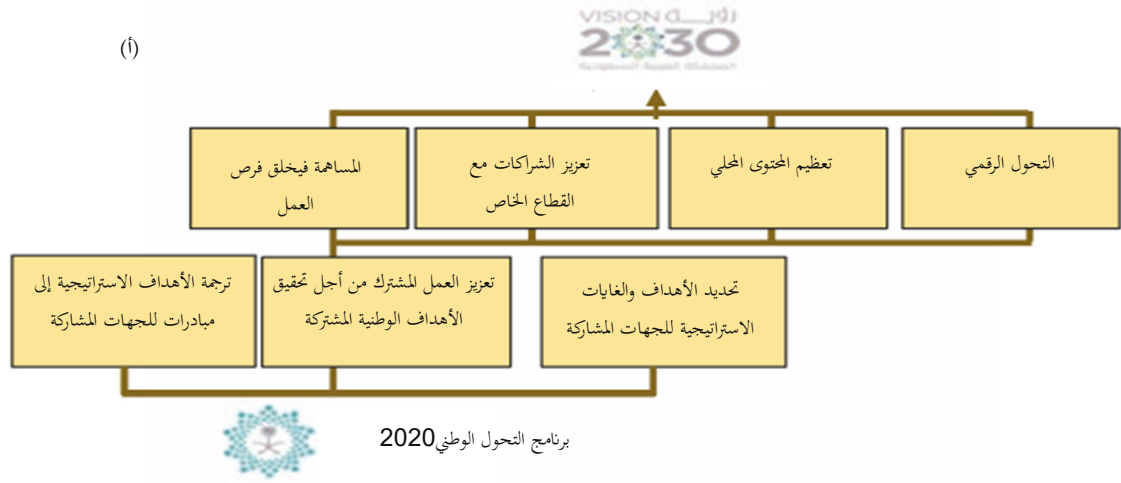
Source : (Ramady, 2018, p. 26)

يتوسع إنتاج الغاز السعودي باستمرار، حيث أصبحت القاعدة الاقتصادية السعودية أكثر تنوعا وتوسعت مصانع الطاقة والتصنيع المحلية، وبالنسبة لعمليات الغاز الإجمالية لأرامكو السعودية تتم معالجة الغاز الطبيعي لإنتاج الوقود النظيف (غاز الميثان أو غاز المبيعات) و المواد الأولية (الميثان والإيثان والبروبان والبيوتان والغاز الطبيعي)، ويتم استهلاك الميثان والإيثان حاليا بالكامل من قبل المرافق والصناعة في المملكة العربية السعودية ، بينما يتم تصدير الفائض من البروبان والبيوتان والغاز الطبيعي الذي لا تستخدمه صناعة البتروكيماويات المحلية، ووفقا لشركة أرامكو السعودية فإن إنتاجها من الغاز الطبيعي يحقق المتطلبات الاستهلاكية المحلية للمملكة.

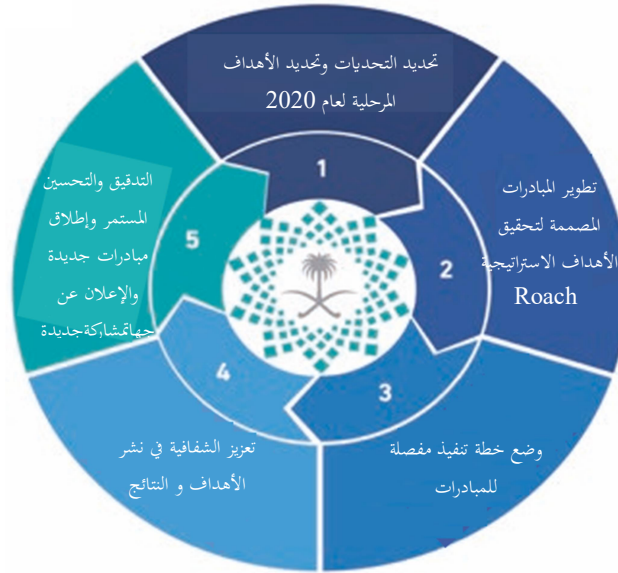
الشكل 2: برنامج التحول الوطني ونموذجه التشغيلي. (أ) برنامج التحول الوطني ورؤية 2030. (ب) نموذج تشغيل برنامج التحول الوطني. (ج)

رؤية المملكة العربية السعودية 2030

(أ)



(ب)



(ج)



Source : (Ramady, 2018, p. 69)

ولتحقيق رؤيتها تركز الشركة على أربعة محاور استراتيجية في جميع أعمالها تتمثل في (Aramco, 2024, p. 20):

- التفوق في مجال التنقيب والإنتاج: بصفتها المحرك الرئيسي لتوليد القيمة تعزز أرامكو الحفاظ على مكانتها كأكبر شركة نفط خام في العالم من حيث حجم الإنتاج بأقل التكاليف، بحيث تسمح قاعدة احتياطيات الشركة الهائلة وطاقاتها الفائضة ومرونتها التشغيلية الفريدة بالاستجابة بفعالية للتغيرات في الطلب في السوق؛

- **التكامل داخل القطاع:** تمتلك أرامكو منظومة متخصصة من المصافي المحلية والدولية، المملوكة بالكامل والتابعة لها، والتي تُسهم في تحقيق الربح من إنتاجها في قطاع المنبع، ومن خلال التكامل الاستراتيجي المستمر، تحقق الشركة قيمة إضافية عبر سلسلة القيمة الهيدروكربونية؛
- **مبادرات خفض الكربون:** تهدف أرامكو إلى خفض صافي انبعاثات الكربون من عملياتها، ودعم التحول العالمي في مجال الطاقة من خلال تطوير أعمال الطاقات الجديدة التي تشمل توليد الطاقة المتجددة والمنتجات، و اعتماد الحلول منخفضة الكربون في قطاعات الطاقة والكيماويات والمواد؛

- **توطين سلسلة توريد الشركة، ودعم الشركات الوطنية الرائدة:** تعمل أرامكو على تسهيل تطوير منظومة طاقة متنوعة وأكثر استدامة وتنافسية عالميا داخل المملكة، وذلك لتعزيز القدرة التنافسية للشركة ودعم التنمية الاقتصادية الوطنية.

ولقد تبنت الإدارة العليا لأرامكو السعودية في إطار رؤية 2030 تحليل SWOT التالي كما هو موضح في الجدول أدناه:

الجدول 2: تحليل SWOT لشركة أرامكو

نقاط القوة	نقاط الضعف
- احتياطي قوي من النفط / الغاز؛ - قدرة إنتاجية كبيرة؛ - التركيز على الابتكار والبحث و التطوير؛ - تنمية أصول التكرير؛ - مكانة السوق العالمية.	- تركز الاحتياطي في المملكة؛ - عدم وجود شبكة بيع بالتجزئة في جميع أنحاء العالم؛ - الرؤية الطموحة 2030 التفويض / القدرة على التنفيذ؛ - اجتهاد الموظفين الرئيسيين.
الفرص	التحديات
- مبادرات كفاءة الطاقة؛ - توسيع توطين قاعدة سلسلة التوريد؛ - توسيع نموذج تشغيل الأعمال الحالي ليشمل التصنيع؛ - الاكتتاب العام المحتمل لإنشاء هيكل تشغيلي جديد.	- تقلب أسعار النفط الخام والغاز الطبيعي والكيماويات؛ - مواجهة لوائح بيئية أكثر صرامة؛ - منافسة شديدة دوليا مع شركات النفط العالمية؛ - الاكتتاب العام لا يحقق التغيرات المأمولة.

Source : (Ramady, 2018, p. 74)

2.5 إدارة الطاقة وكفاءة استهلاكها في أرامكو السعودية:

بدأت أرامكو برنامجها لإدارة الطاقة لتحسين أداء الطاقة في عام 2000 ومنذ عام 2013 تحسنت كثافة استهلاك الطاقة في عمليات أرامكو بنسبة 13.4 %، وفي عام 2022 وسعت الشركة نطاق الإبلاغ عن مقياس كثافة الطاقة لديها ليشمل شركاتها التابعة لسيطرتها التشغيلية، سواء على الصعيد العالمي أو داخل المملكة، وقد ساهمت محطات توليد الطاقة المشتركة، وتحسين الطاقة التشغيلية، وإدارة أحمال المعدات، وتحديثات المعدات أكثر كفاءة في مجال استخدام الطاقة، إلى تحسين أداء الطاقة، وفي عام 2023 ارتفعت كثافة استخدام أرامكو للطاقة بنسبة 5.2 % مقارنةً بعام 2022، وتجدر الإشارة إلى أن الزيادة المخطط في الطلب على الطاقة لا تقتزن بزيادة الإنتاج غير المخطط والمرتبط بالمصافي وبعض الشركات التابعة، وقد شهد الطلب على الطاقة في الشركات التابعة لأرامكو والخاضعة لسيطرتها التشغيلية زيادة بنسبة 6.5 %، وبالإضافة إلى ذلك فقد تم إضافة الوحدات المستقرة في مصفاة جازان إلى الطلب المقاس على الطاقة في عام 2023. وقد أثرت الزيادة في إنتاج الغاز ومعالجته وتخزينه إلى جانب انخفاض الإنتاج الإجمالي في كثافة الطاقة، ومن الإجراءات المتبعة في تحقيق الكفاءة الطاقوية: (Aramco, 2023, pp. 34-37)

- تشغيل مولد توربيني بخاري يعمل بالدورة المركبة في منشأة إنتاج الشببية، والذي ترتب عنه تجنب انبعاثات 75.6 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً؛
- تجنب تخفيض احتياطي البخار في مصانع بقيق انبعاثات تقدر بـ: 44 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً؛
- تحسين عمليات التبريد في محطة غاز بيرى، تجنب انبعاثات 22.6 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً؛
- أدت دراسة تحسين كفاءة الطاقة لتحسين الطلب على الطاقة في حقل منيفة إلى خفض استهلاك الكهرباء بمقدار 552 ميجاوات ساعة في عام 2023 بما يعادل 0.38 مليون طن مكافئ من ثاني أكسيد الكربون سنوياً؛
- استمرار تحسين أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء وضوابطها في المباني لتعزيز كفاءة الطاقة؛
- حصلت 40 مؤسسة تابعة لأرامكو على شهادة ISO 50001 لأنظمة إدارة الطاقة لديها؛
- **التوليد المشترك للطاقة:** ساهمت استثمارات الشركة في محطات التوليد المشترك للطاقة في تحسينات ملحوظة في كفاءة الطاقة لكل من عملياتها والشبكة الوطنية، حيث تصدر جزء من الطاقة المولدة، وتُمكن محطات التوليد المشترك عالية الكفاءة من إنتاج الكهرباء لعمليات الشركة باستخدام ما كان سيهدر من حرارة/طاقة، كما تمكنها من تحقيق الاكتفاء الذاتي في توليد الطاقة الكهربائية لمحطاتها العاملة، كم يتم الاعتماد على تحليل البيانات اللحظية للطاقة المولدة، بما يمكن من تعزيز كفاءة الطاقة بشكل أكبر، وتستغل الشركة ما الطاقة المهذرة من خلال تعظيم تحويل الطاقة الناتجة عن احتراق الوقود إلى طاقة وبخار، وذلك لتحقيق كفاءة الطاقة الحرارية المحسنة وتقليل إجمالي انبعاثات غازات الاحتباس الحراري لتحقيق الشركة في عام 2023 متوسط كفاءة حرارية بلغ 71 % (70.7 % في عام 2022) في منشأتها المترابطة لتوليد الطاقة المشتركة، وقد أجريت عدة دراسات لتحسين استخدام الطاقة في المرافق والمشاريع الرأسمالية القائمة، والتي حددت مبادرات كفاءة الطاقة، بما في ذلك خيارات التشغيل الأمثل، ودمج التدفئة، ونشر تقنيات استعادة الحرارة المهذرة؛
- **حرق الغاز:** على الرغم من أن حرق الغاز أمر ضروري في منشآت معالجة النفط والغاز لأغراض السلامة، فقد عملت الشركة على مدى عقود على ابتكار حلول للحد من هذا الحرق، بدء من البنية التحتية الأكبر مثل: نظام الغاز الرئيسي لديها وتركيب أنظمة استعادة غاز الحرق في العديد من مصانعها، وصولاً إلى تطوير حلول رقمية مبتكرة، ويعد نظام مراقبة الشعلات لديها مثالا على ذلك، فهو يعالج التحديات المتعلقة بمراقبة الشعلات وتقليلها، إذ يوفر هذا الحل إمكانيات مراقبة آنية لجميع مصادر الشعلات على مستوى الشركة، وعلى مستوى الأصول، وقد بلغت كثافة حرق الغاز لديها في عام 2023 نحو 5.64 قدم مكعب قياسي/برميل مكافئ نفطي، بزيادة 4.60 قدم مكعب قياسي/برميل مكافئ نفطي مقارنة بعام 2022، ويعزى ذلك في المقام الأول إلى زيادة أنشطة الصيانة والتشغيل، بالإضافة إلى إدراج وحدات مصفاة جازان المستقرة في جرد انبعاثات غازات الاحتباس الحراري لعام 2023 وتقارير مقاييس الحرق؛
- **الميثان:** يعد الميثان أحد غازات الاحتباس الحراري القوية ذات القدرة على التسبب في الاحتباس الحراري العالمي أعلى من ثاني أكسيد الكربون، وبالتالي فإن إدارته تشكل أولوية لشركة أرامكو وصناعة النفط والغاز، وفي إطار مبادرة المناخ للنفط والغاز (OGCI)، حدد الأعضاء هدفاً لخفض انبعاثات الميثان من عمليات النفط والغاز، وقد تجاوزت الشركة هدف المبادرة لعام 2025، وهو أقل بكثير من 0.20 % (بلغ 0.05 %)، وتواصل اتخاذ إجراءات لخفض كثافة انبعاثات الميثان بشكل أكبر، ولقد انخفضت انبعاثات الميثان من المنبع بنسبة 5.1% على الرغم من زيادة إنتاج الغاز الطبيعي، ويعود ذلك إلى تحسين كفاءة العمليات التراكمية، بما في ذلك تركيب أنظمة إعادة تدوير غازات الاحتراق (FGR)، وأنظمة حرق الغاز عالية الكفاءة، واعتماد خطط صارمة لتقليل حرق الغازات لتقليل أحجام حرق الغازات ومعدل إرسال غاز العمليات إلى الحرق، كما تجدر الإشارة إلى أن الشركة تعتمد على مراقبة غازات الاحتباس

الحراري عبر الأقمار الصناعية، من خلال نشر كوكبة (شبكة) أقمار GHGSat الصناعية، بعد تجارب مكثفة إضافة إلى برنامج أطلق عام 2023 لتحديد ومراقبة انبعاثات غاز الميثان الناتجة عن عمليات أرامكو داخل المملكة.

6. خاتمة:

في ظل التطورات الراهنة والظروف المعقدة في أسواق النفط الدولية تغيرت قواعد اللعبة التنافسية والشروط الإنتاجية من حيث ضرورة إعادة النظر في طرق التصميم الهندسي للعمليات، واختزال المراحل المكلفة في بناء سلسلة التوريد انطلاقاً من التحكم في اتجاهات الانحراف التشغيلي والاستراتيجي بما ينتج عنه إعادة التصميم الجزئي أو الكلي لصناعة الوحدات الإنتاجية النفطية. وبالتزامن مع بروز تكتلات اقتصادية جديدة تعتمد على مداخل التكامل الوظيفي فيما بينها، تعمل شركة أرامكو السعودية وفق رؤيتها المستقبلية لسنة 2030 على التوجه المستقبلي نحو إنتاج الطاقات المتجددة في ظل الحاجة الملحة إلى تبني منظور الهندسة القيمة في علاقات البائع بالمشتري من حيث إنشاء مراكز للإنتاج والتوزيع ضمن مواقع جغرافية مختلفة زمانياً ومكانياً تعظم من خلالها مداخلها، وتنوع بها إيراداتها من خلال مكاسب الاستكشافات النفطية الجديدة، طرق التنقيب، الاستخراج، والإنتاج. وبالإسقاط على ما تم تداوله في الإطار النظري وتحليل مكوناته ارتأينا أن نلخص مجموعة من النقاط الختامية فيما يلي:

1.6 النتائج:

- تزايد التأكيد على التجزئة الطيفية للعملية الإنتاجية وفق مسارات وخطوط انتاج مختلفة توسع من مركز الإنتاج للشركة؛
- ضمان جودة المنتجات بإخضاع التصميم اللوجستي إلى إعادة التصميم في حالة الانحرافات بالتركيز على الحيويد السداسي لاحتواء السلبية في اجراءات التنازع وفوضوية العلاقات في السوق؛
- تسريع وتيرة الإنتاج بتسريع وقت التسليم من خلال انتهاج استراتيجية التجميع للأمر وفق منهجية التجميع النهائي للمكونات النمطية للمنتج المخزنة في مراكز انتاج ثانوية مختلفة؛
- السيطرة على السوق بتنفيذ استراتيجية الإنتاج للتخزين عن طريق توفير منتجات ذات جودة عالية و ضمان انسيابها من المستودعات العامة للمخزون إلى السوق الدولية؛
- إدارة فرق العمل الدولية وفق منظور التحسين المستمر في الإنتاج والعمليات للتحكم أكثر في التكاليف وبلوغ مستوى جودة عالية بتطبيق مبدأ التخصص الدقيق في الإنتاج بين مكونات الفريق.

2.6.6.6.6 الافتراحات:

- تعظيم قيمة أنشطة أعمال التسويق الدولي من خلال خلق حاجات جديدة للمستهلكين الحاليين والمرتقبين ترتبط بشكل مباشر أو غير مباشر بنمط الانتاج المعتمد في بيئة التنافس الدولية؛
- العمل على الاستفادة من التجربة السعودية في انشاء مراكز انتاج وتوزيع متعددة الانتشار الجغرافي للتحكم أكثر في أهداف التسويق الدولي؛
- الاستفادة من طول قنوات التوزيع الدولية من خلال التركيز على الوسطاء المؤثوقين في توسيع قطر المركز الانتاجي نحو الأطراف لبلوغ التعدد في مفهوم نظام التوريد؛
- تطوير العناقيد التسويقية بالتزامن مع استهداف العناقيد الصناعية ذات الربحية العالية في المجال النفطي لدعم التفرعات المشبكية في

العلاقات الاقتصادية بين الرواد المتعاونين في هذه الصناعة؛

- التغلب على سياسة التهجين في سلسلة التوريد العالمية بدلا من تغيير قواعد اللعبة التنافسية عن طريق نقل النظام التسويقي المشتت بين المراكز إلى نظام الأوفست offset.

7. قائمة المراجع:

1.7 قائمة المراجع باللغة العربية:

1. الرفيعي، ع. ع. (s.d.). عوامل نجاح إدارة سلسلة التوريد ودورها في تحسين أداء العمليات-دراسة حالة في مصفى النفط في النجف الأشرف. مجلة الإدارة والاقتصاد(12)3.
2. العالم، ف. أ. (2022). صناعة البترول. الأردن: دار اليازوري.
3. العبادي، أ. أ. (2013). إدارة سلسلة التجهيز وأبعاد استراتيجية العمليات والأداء التسويقي. الأردن: دار الحامد.
4. توفيق، ع. أ. (2014). محاسبة التكاليف في صناعة البترول (م. أ. للإدارة). Éd.
5. خضر، وش. م. (2022). استراتيجيات الخدمات اللوجستية وإدارة التوزيع. لندن: دار الأكاديمية.
6. داغر، وأ. (2007). الموسوعة العربية للمعرفة من أجل التنمية المستدامة، المجلد الرابع، البعد الاقتصادي (م. أ. أ. للعلوم، Éd.). بيروت.
7. شيفرين، وس. ت. (2005). الرقابة على النفط: دليل الصحفي في مجال الطاقة والتنمية (م. أ. المنفتح). Éd. نيويورك.
8. فواز، وب. و. (2021). واقع النفط في اقتصاديات الدول العربية. مجلة الاقتصاد والتنمية المستدامة،(01)04.
9. محاسنة، م. أ. (2014). هندسة البترول. الأردن: دار صفاء.
10. وآخرون، ع. و. (2014). إدارة المواد: الشراء والتخزين من منظور كمّي. دار وائل.

7.2 References in english:

11. Aramco. (2023). Aramco Sustainability Report 2023, Investing in growth Innovating for sustainability. Récupéré sur <https://argaamplus.s3.amazonaws.com/e4af058e-4896-4ce9-8d7d-2b534bf7a824.pdf>
12. Aramco, S. (2024). Annual Report 2024. Récupéré sur https://www.rns-pdf.londonstockexchange.com/rns/2576Z_1-2025-3-4.pdf
13. Badiru, A. B. (2022). Global Supply Chain : Using Systems Engineering Strategies to Respond to Disruptions . (C. Press, Éd.) New York.
14. Goetschalckx, M. (2011). Supply Chain Engineering. International Series in Operations Research & Management Science, 161, 15-16.
15. Jones, E. C. (2020). Supply Chain Engineering and Logistics Handbook: Inventory and Production Control . (C. Press, Éd.) New York.
16. Jr, A. R. (2013). Supply Chain Engineering : Models and Applications. New York: CRC Press.
17. Ramady, M. A. (2018). Saudi Aramco 2030 : Post IPO challenges. London, United Kingdom : Springer.