

Final Project 1

Code: MGM 496-PMG496

Project Template

Faculty of Management
Midocean University

عنوان المشروع

إدارة مخاطر مشاريع إنتاج الميثانول على البيئة المحيطة

أسم الطالب

أحمد ماهر أحمد شاهين

مشروع تخرج- 1

كلية الإدارة- جامعة ميدأوشن

إشراف

د. عبد الرحيم نادر

عضو هيئة التدريس- كلية الإدارة- جامعة ميدأوشن

التاريخ- الفصل الدراسي

2026 – الفصل الثالث

جدول المحتويات

3	1. الفصل الأول: الإطار العام للدراسة
4	1.1. المقدمة:
5	1.2. مشكلة الدراسة
5	1.2.1. فجوات على المستوى النظري
6	1.2.2. فجوات على المستوى التطبيقي
6	1.3. أهمية الدراسة
6	1.3.1. على المستوى النظري:
7	1.3.2. على المستوى التطبيقي:
7	1.4. أسئلة الدراسة
7	1.5. أهداف الدراسة
8	1.6. فرضيات الدراسة
8	1.7. نموذج الدراسة
9	1.8. منهجية الدراسة
9-10	1.9. الدراسة الميدانية
11-12	1.10. مخطط المشروع المقترح
13	2. الفصل الثاني: الدراسات السابقة
14	2.1. المقدمة:
15	2.2. المتغير المستقل
15	2.3. المتغير التابع
16-17	2.4. العلاقة بين المتغير المستقل والمتغير التابع
18	2.5. الخاتمة
19-21	قائمة المراجع

1. الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1.1. المقدمة:

شهدت الصناعات البتروكيمياوية في العقود الأخيرة نمواً متسارعاً جعلها الركيزة الأساسية للتنمية الاقتصادية والصناعية في الكثير من دول العالم. ومن بين هذه الصناعات، يبرز مركب "الميثانول (Methanol)" كأحد أهم المواد الكيميائية الاستراتيجية، حيث يدخل كمادة خام في إنتاج مئات المنتجات اليومية، فضلاً عن تصنيفه المتزايد كوقود نظيف ومستدام للمستقبل.

ومع هذا التوسع الهائل في مشاريع إنتاج الميثانول، تبرز على السطح تحديات بيئية وصحية جسيمة تتطلب وقفة حازمة؛ فعمليات التصنيع، والتخزين، والنقل تصاحبها مخاطر محتملة قد تؤثر سلباً على البيئة المحيطة، سواء من خلال الانبعاثات الغازية، أو الملوثات السائلة، أو احتمالية حدوث تسربات كيميائية تؤثر على التربة والمياه الجوفية، والنظم البيئية المجاورة.

من هذا المنطلق، لم تعد عملية الإنتاج معزولة عن متطلبات الاستدامة والحماية البيئية، بل أصبح تطبيق نظام صارم لـ "إدارة المخاطر البيئية" ضرورة ملحة لضمان استمرارية هذه المشاريع دون الإخلال بالتوازن البيئي. وتأتي هذه الدراسة لتسليط الضوء على هذه التحديات، من خلال تحديد وتقييم المخاطر البيئية المرتبطة بمشاريع الميثانول، واستعراض أفضل الاستراتيجيات والحلول الهندسية والإدارية للحد منها والسيطرة عليها.

1.2. مشكلة الدراسة

تعد صناعة الميثانول من الركائز الاقتصادية الهامة، إلا أن عمليات الإنتاج والتخزين والنقل المرافقة لها تنطوي على مجموعة من المخاطر البيئية والمجتمعية المحتملة، مثل انبعاثات الغازات الدفيئة، الملوثات السائلة، وخطر التسرب الكيميائي.

1.2.1. فجوات على المستوى النظري

- قصور في دراسة "الميثانول الأخضر" مقابل "التقليدي": أغلب النظريات تركز على مخاطر الميثانول التقليدي (المشتق من الغاز الطبيعي أو الفحم). هناك نقص نظري كبير في تصنيف وتقييم مخاطر إنتاج الميثانول الأخضر (المعتمد على الهيدروجين واحتجاز الكربون) وتأثيراته البيئية الطويلة المدى.
- ضعف النماذج الرياضية التنبؤية للتسرب البحري: الميثانول سريع الذوبان في الماء ويمتزج به تماماً. النظريات الحالية تفتقر إلى نماذج محاكاة دقيقة تتنبأ بأثر التسربات الضخمة في البيئات البحرية الحساسة (مثل الشعاب المرجانية) وكيفية تشتته ديناميكياً.
- غياب الأطر النظرية المدمجة (Integrated Frameworks): الدراسات غالباً تفصل بين إدارة المخاطر التشغيلية (داخل المصنع) وإدارة التأثير البيئي (خارج المصنع). لا يوجد نموذج نظري شامل يدمج "سلسلة التوريد بالكامل" من الإنتاج حتى الشحن والتخزين من منظور بيئي بحث.
- محدودية دراسات الأثر التراكمي (Cumulative Impact): الأبحاث تركز على تقييم أثر المصنع بمفرده، وتتجاهل دراسة الأثر البيئي التراكمي لعدة مصانع ميثانول متجاورة في منطقة صناعية واحدة على مدار 20-30 سنة.

1.2.2. فجوات على المستوى التطبيقي

- ضعف أنظمة الإنذار المبكر للتسربات غير المرئية: الميثانول سائل شفاف واحتراقه ينتج لهباً غير مرئي تقريباً في ضوء النهار. تطبيقاً، هناك فجوة في استخدام تقنيات استشعار متطورة ورخيصة قادرة على كشف التسربات الصغيرة أو الحرائق الشفافة فوراً قبل وصولها للتربة أو المياه الجوفية.
- الفجوة التنظيمية والتشريعية: القوانين البيئية المحلية في كثير من الدول لم تواكب التوسع السريع في مشاريع الميثانول، مما يخلق فجوة بين ما تطبقه الشركات فعلياً وبين المعايير البيئية الصارمة المطلوبة لحماية المجتمعات المحيطة.
- محدودية الجاهزية لإدارة الكوارث البيئية (Emergency Response): خطط الطوارئ في كثير من المشاريع هي خطط "ورقية" تفتقر إلى التدريب الميداني التفاعلي مع الجهات البيئية المحلية لكيفية التعامل مع سائل يذوب في الماء بسرعه ويسمم الحياة البحرية والمائية.
- إهمال تقييم دورة الحياة الكاملة (LCA) عملياً: الشركات تركز في تقييم المخاطر البيئية على مرحلة "الإنتاج" فقط داخل أسوار المصنع، بينما تهمل عملياً مخاطر مرحلة التخلص من النفايات الكيميائية الناتجة عن المحفزات (Catalysts) المستخدمة في التصنيع.

-السؤال الرئيسي

كيف يمكن بناء وتطبيق إطار فعال لإدارة المخاطر البيئية في مشاريع إنتاج الميثانول للحد من آثارها السلبية على البيئة المحيطة؟

1.3. أهمية الدراسة

1.3.1. على المستوى النظري:

يساهم البحث في سد النقص والذي يربط بين هندسة إنتاج الميثانول واستراتيجيات إدارة المخاطر البيئية.

يوفر البحث مادة علمية مؤصلة تجمع بين المفاهيم البيئية والإدارية والهندسية، مما يجعله مرجعاً للباحثين والطلاب المهتمين بمجالات الاستدامة وإدارة المخاطر الصناعية.

1.3.2. على المستوى التطبيقي:

دعم صناع القرار والجهات التنظيمية: حيث نقدم دليلاً استرشادياً يساعد الجهات البيئية ورقابة الصناعة في وضع معايير وأنظمة صارمة للسيطرة على انبعاثات وتأثيرات مصانع الميثانول.

تحسين الأداء البيئي للمصانع: يساعد شركات البتروكيماويات ومشاريع الطاقة على تبني استراتيجيات حديثة وأكثر كفاءة للحد من الحوادث البيئية (كالتسربات والانبعاثات)، مما يقلل من التكاليف المادية والبيئية الناتجة عن هذه المخاطر.

حماية المجتمعات المحلية: حيث يساهم في رفع مستوى الأمان البيئي للمناطق السكنية والنظم الحيوية المحيطة بهذه المشاريع، مما يدعم مفهوم التنمية المستدامة.

1.4. أسئلة الدراسة

1. ما هي أبرز المخاطر البيئية (الغازية، السائلة، والصلبة) الناتجة عن مراحل إنتاج الميثانول؟
2. ما هي الآثار المترتبة على تسرب أو انبعاث هذه الملوثات على النظم البيئية المحيطة بالمصانع؟
3. ما واقع كفاءة الإستراتيجيات الحالية المستخدمة في إدارة وتقييم مخاطر هذه المشاريع؟
4. ما هي أفضل الحلول والتقنيات البيئية والإدارية المقترحة للسيطرة على هذه المخاطر وتحقيق الاستدامة؟

1.5. أهداف الدراسة

تسعى هذه الدراسة بشكل رئيس إلى تحقيق الأهداف التالية:

1. التعرف على مراحل إنتاج الميثانول: وتحديد طبيعة الانبعاثات والمخلفات (الغازية، السائلة، والصلبة) المصاحبة لكل مرحلة.
2. تحليل الآثار البيئية: تقييم المخاطر والأضرار المحتملة التي قد تلحق بعناصر البيئة المحيطة (الهواء، التربة، المياه الجوفية) والتنوع الحيوي نتيجة هذه المشاريع.
3. تقييم واقع إدارة المخاطر الحالية: رصد وقياس مدى كفاءة الاستراتيجيات والأنظمة المطبقة حالياً في المنشآت الصناعية للتعامل مع المخاطر البيئية للميثانول.
4. تطوير إطار مقترح لإدارة المخاطر: تقديم استراتيجيات وحلول هندسية وإدارية حديثة (مثل تقنيات السيطرة على الانبعاثات وخطط الطوارئ) تساهم في الحد من هذه المخاطر وتحقيق التنمية المستدامة.

1.6. فرضيات الدراسة

الفرضية الأولى: توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين مراحل إنتاج وتخزين الميثانول وبين مستويات التلوث البيئي (الهوائي والمائي) في المناطق المحيطة بالمشاريع.

الفرضية الثانية: يؤدي غياب أو ضعف خطط الاستجابة السريعة لحالات الطوارئ (مثل التسرب الكيميائي) إلى تفاقم الأضرار البيئية على التربة والمياه الجوفية بشكل طردي.

الفرضية الثالثة: تطبيق الأساليب الهندسية الحديثة (كالفلترة المتقدمة وتدوير النفايات الصناعية) يساهم بشكل جوهري في خفض معدلات المخاطر البيئية الناتجة عن مصانع الميثانول.

الفرضية الرابعة: هناك أثر إيجابي ذو دلالة إحصائية لتبني إطار متكامل لإدارة المخاطر البيئية على تحقيق معايير الاستدامة الصناعية وحماية المجتمعات المحلية.

1.7. نموذج الدراسة

أولاً: رصد أنشطة المشروع ومصادر الخطر (المرحلة التشغيلية): التركيز على العمليات الصناعية داخل مصانع الميثانول، وتحديداً في مرحلتي (الإنتاج والتصنيع) وما ينتج عنها من انبعاثات ومخلفات، ومرحلتي (التخزين والشحن) وما تحتويه من مخاطر لوجستية وحوادث محتملة.

ثانياً: تطبيق إطار إدارة المخاطر (المرحلة الضابطة والمعالجة): حيث يتم إدخال "نظام إدارة المخاطر البيئية" كأداة تحكم وفترة. ويتكون هذا الإطار من ثلاثة إجراءات متسلسلة: (تحديد الخطر رسداً، ثم تقييمه وتحليله لقياس جسامته، وأخيراً وضع خطط الاستجابة والتحكم الهندسية والإدارية المناسبة للسيطرة عليه).

ثالثاً: قياس الأثر البيئي وتحقيق الاستدامة (مرحلة المخرجات والنتائج): المخرجات النهائية التي نسعى للوصول إليها وحمايتها، وتتمثل في: قياس مدى سلامة عناصر البيئة الطبيعية المحيطة (الهواء، التربة، المياه الجوفية)، وضمان الأمان الصحي للمجتمعات السكانية المجاورة، وصولاً إلى تحقيق التوازن بين كفاءة الإنتاج الصناعي والمعايير البيئية المستدامة.

1.8. منهجية الدراسة

1. مصادر جمع البيانات:

- المصادر الثانوية: مراجعة الأدبيات العلمية، الكتب، الأبحاث السابقة، والتقارير الفنية الصادرة عن المنظمات البيئية والصناعية الدولية والمحلية (مثل تقارير الاستدامة لشركات البتروكيماويات).
- المصادر الأولية: الاعتماد على البيانات الفنية للمصانع، أو مخرجات أدوات تقييم المخاطر المعتمدة.

2. مجتمع وعينة الدراسة:

التركيز على مشاريع إنتاج الميثانول (تحديد دولة أو منطقة معينة كعينة للدراسة، مثل: الهيئة الملكية بالجبيل وينبع في المملكة العربية السعودية كنموذج تطبيقي).

3. أدوات وأساليب تحليل المخاطر:

سيتم الاعتماد على الأساليب العلمية القياسية المستخدمة في الهندسة البيئية لتحليل وتقييم المخاطر، ومن أبرزها:

أسلوب تقييم الأثر البيئي (EIA - Environmental Impact Assessment) لتحديد التأثيرات المتوقعة للمشروع على الهواء والماء والتربة.

مصفوفة تقييم المخاطر (Risk Assessment Matrix): لتصنيف المخاطر بناءً على (احتمالية الحدوث × شدة الأثر).

1.9. الدراسة الميدانية

1. تحديد "حالة الدراسة"

أول خطوة هي اختيار منشأة أو منطقة صناعية محددة للتطبيق عليها.

2. أدوات جمع البيانات الميدانية

ستعتمد على 3 أدوات رئيسية لجمع بياناتك الميدانية:

- أولاً: المقابلات الشبه منظمة (Semi-structured Interviews) عمل مقابلات شخصية أو عبر البريد الإلكتروني مع المتخصصين داخل المصنع، مثل:
 - مدير إدارة السلامة والصحة المهنية والبيئة (EHS Manager) مهندسي البيئة والتشغيل في خط الإنتاج.
 - محاور الأسئلة: تسألهم عن أنواع الانبعاثات، المشاكل البيئية التي واجهتهم سابقاً، وكيف يتعاملون معها.
 - ثانياً: الملاحظة الميدانية المباشرة والتقارير الداخلية (Field Observation & Records)
 - سجلات الحوادث البيئية السابقة وكيفية التعامل معها.
 - قراءات جودة الهواء والمياه المنبعثة من المصنع مقارنة بالحدود المسموح بها من الجهات التنظيمية.
 - ثالثاً: تطبيق "مصفوفة تقييم المخاطر البيئية" (Risk Matrix)
 - أداة تحليلية للدراسة الميدانية؛ ستقوم برصد المخاطر في المصنع (مثل: خطر تسرب الميثانول أثناء الشحن، خطر انبعاث غاز أول أكسيد الكربون)، ثم تضعها في مصفوفة تقيس فيها:
 - الاحتمالية: ما مدى تكرار حدوث هذا الخطر ميدانياً؟
 - الشدة: لو حدث الخطر، ما مدى تأثيره على البيئة المحيطة؟
3. خطوات التنفيذ الميداني للعمل
1. المخاطبة الرسمية: خطاباً رسمياً موهجاً للشركة لطلب تسهيل مهمتك البحثية.
 2. جمع التقارير البيئية: الحصول على "تقرير الأثر البيئي (EIA) الخاص بالمنشأة أو تقارير الاستدامة السنوية.
 3. تطبيق المصفوفة: تفريغ البيانات والآراء التي جمعتها من المهندسين لتصنيف المخاطر ميدانياً (مخاطر عالية، متوسطة، منخفضة).

1.10. مخطط المشروع المقترح

يتم توزيع مخطط المشروع المقترح على مدار ثمانية أسابيع متتالية، تم تقسيمها برؤية منهجية تضمن الانتقال السلس من الإطار النظري إلى التطبيق الميداني والتحليل، وذلك وفق الخطة الزمنية التالية:

الأسبوع الأول (مرحلة التأسيس والصياغة الهيكلية):

يُخصص هذا الأسبوع لبناء حجر الأساس للمشروع، ويشمل ذلك تحديد عنوان البحث بدقة، وصياغة المقدمة العامة، وتحديد مشكلة الدراسة والأسئلة المتفرعة عنها، بالإضافة إلى صياغة الأهداف، الفرضيات، وبناء نموذج الدراسة.

الأسبوع الثاني (تأصيل تكنولوجيا الإنتاج والبيئة):

البدء الفعلي من خلال جمع المراجع المتخصصة وصياغة الفصل الأول، والذي يركز على الجانب الهندسي لتكنولوجيا إنتاج الميثانول، وتحديد طبيعة النفايات والمخلفات الصناعية (الغازية والسائلة والصلبة) المصاحبة لخطوط الإنتاج.

الأسبوع الثالث (حصر وتحليل المخاطر البيئية):

الانتقال إلى كتابة الفصل الثاني من البحث، والذي يركز على دراسة التأثيرات والأضرار المحتملة للميثانول ومخلفاته على عناصر البيئة المحيطة (جودة الهواء، سلامة التربة، تلوث المياه الجوفية)، بالإضافة إلى رصد التأثير الحاصل على التنوع الحيوي والمجتمعات السكانية القريبة.

الأسبوع الرابع (التحضير والتجهيز الميداني):

يتم في هذه المرحلة التجهيز لجانب الدراسة الميدانية (دراسة الحالة)، ويشمل ذلك تصميم محاور وأسئلة المقابلات الموجهة لمهندسي البيئة والسلامة (EHS)، واستخراج الخطابات الرسمية والتسهيلات اللازمة موجهة للشركة المستهدفة.

الأسبوع الخامس (مرحلة جمع البيانات الميدانية):

النزول الميداني الفعلي أو التواصل الرسمي مع المنشأة الصناعية المختارة، وإجراء المقابلات المقررة مع الكوادر الفنية، إلى جانب جمع التقارير البيئية الداخلية وتقارير الاستدامة الصادرة عن المنشأة.

الأسبوع السادس (التحليل وتطبيق مصفوفة المخاطر):

يُخصص هذا الأسبوع للجانب التحليلي الفني؛ حيث يتم تفريغ بيانات المقابلات وتطبيق الأساليب القياسية مثل مصفوفة تقييم المخاطر (الاحتمالية × الشدة) لتصنيف المخاطر الميدانية، وصياغة إطار المعالجة المقترح ضمن الفصل الثالث.

الأسبوع السابع (الاستنتاجات ووضع التوصيات):

صياغة الجزء الأخير، ويشمل استخلاص النتائج النهائية للدراسة، واختبار مدى صحة الفرضيات بناءً على المؤشرات النظرية والميدانية، ووضع التوصيات والحلول العملية القابلة للتطبيق لحماية البيئة.

الأسبوع الثامن (التدقيق والإخراج النهائي):

المرحلة الختامية وتتضمن إجراء التدقيق اللغوي والإملائي الكامل، وفهرسة المراجع العربية والأجنبية وفق نظام (APA)، وتنسيق الجداول والمخططات لإخراج البحث بصورته النهائية اللائقة للتقديم للمشرف الأكاديمي.

2. الفصل الثاني: الدراسات السابقة

2.1. المقدمة:

لا ينعزل أي تطور صناعي عن فاعورته البيئية، ومن هذا المنطلق يشكّل اساعراض الدراسات السابقة الجسر المعرفي الذي يربط بين طموحات إنتاج مركب اساعراض كالميثانول، وحقمية حماية النظم البيئية المحيطة به. فمع تسارع وتيرة الصناعات البتروكيماوية، تحركت الأبحاث العلمية في مسارات متعددة لمحاولة السيطرة على الانبعااثات والمخاطر، إلا أن هذا الحراك ظل مجزأ؛ تفصل فيه الأدبيات غالباً بين هندسة الإنتاج داخل المصنع، وتأثيراته الحيوية في الخارج.

ومن خلال المسح الشامل للأدبيات المتاحة، تم تصنيف الدراسات السابقة في هذا الفصل عبر أربعة محاور رئيسية تتبع بدقة دورة حياة الخطر: تبدأ ب التقييم البيئي المقارن لتقنيات الإنتاج (التقليدي ضد الأخضر)، مروراً ب ديناميكية تشتت الملوثات والتسربات الكيميائية في التربة والبيئة البحرية، ثم تقييم كفاءة الأطر الإدارية وأنظمة الإنذار الحالية، وصولاً إلى دراسات الأثر البيئي التراكمي ودورة حياة المحفزات.

إن الغرض الجوهرى من هذا الاستعراض النقدي ليس مجرد رصد ما حققه الباحثون والمنظمات البيئية (كالهيئة الملكية للجبيل وينبع)، بل وضع الأصبع بدقة على "الفجوة المعرفية" القائمة؛ وتحديدأ شح النماذج التنبؤية لتسرب الميثانول في البيئات المائية نظراً لسرعة ذوبانه العالية، وقصور التقنيات التطبيقية في كشف حرائقه الشفافة وتسرباته غير المرئية، وغياب إطار موحد يدمج مخاطر سلسلة التوريد بالكامل من المصنع إلى موانئ الشحن. وهنا تبرز القيمة المضافة لهذه الدراسة، حيث تنطلق من حيث انتهت الأدبيات السابقة لتقدم إطاراً تطبيقياً متكاملأ يوازن بين كفاءة التصنيع ومعايير الاستدامة البيئية الصارمة.

2.2. المتغير المستقل

إطار إدارة المخاطر البيئية بمراحله التشغيلية والتنظيمية والهندسية.

ولكي تضع هذا المتغير بدقة أكاديمية في بحثك أمام المشرف، يُقسّم هذا المتغير المستقل إلى أبعاد أو متغيرات فرعية (Dimensions) بناءً على ما ذكرته أنت في نموذج الدراسة:
أبعاد المتغير المستقل:

1. تحديد ورصد المخاطر (Risk Identification) وتشمل رصد أنشطة الإنتاج، والتخزين، والشحن، والاتفاقات للمخاطر غير المرئية (مثل الحرائق الشفافة والتسربات البحرية).
 2. تقييم وتحليل المخاطر (Risk Assessment) ويتمثل في تطبيق الأساليب القياسية مثل (مصفوفة تقييم المخاطر 5 $\times$ 5) لقياس الاحتمالية والشدة.
 3. الاستجابة والتحكم (Risk Response & Control) وتشمل الحلول الهندسية (كالفلتر المتقدمة، وتدوير النفايات، وأنظمة الإنذار المبكر) والحلول الإدارية (كخطط الطوارئ والالتزام بالتشريعات البيئية).
- كيف يربط البحث بين المتغيرات؟

المتغير المستقل: إطار إدارة المخاطر البيئية (بأبعاده الثلاثة أعلاه).
المتغير التابع (Dependent Variable): الاستدامة البيئية وحماية البيئة المحيطة (سلامة الهواء، التربة، المياه الجوفية والبحرية، وصحة المجتمعات المحلية).

2.3. المتغير التابع

الاستدامة البيئية وحماية المنظومة الحيوية المحيطة.

أبعاد ومؤشرات المتغير التابع:

1. سلامة الأوساط البيئية الطبيعية:

جودة الهواء: خفض الانبعاثات الغازية والدفيئة الناتجة عن التصنيع.

سلامة التربة والمياه الجوفية: خلوها من الملوثات السائلة والتسربات الكيميائية.

صون البيئة البحرية الحساسة: حماية الأحياء المائية والشعاب المرجانية (خاصة عند الشحن والتصدير).

2. الأمان الصحي والمجتمعي:

رفع مستوى السلامة البيئية للمجتمعات السكانية والمناطق الحيوية المجاورة للمصانع.

3. الاستدامة الصناعية (الاستدامة التشغيلية):

تحقيق التوازن بين كفاءة الإنتاج البتروكيماوي والالتزام بالمعايير والتشريعات البيئية الصارمة (مثل معايير الهيئة الملكية بالجبيل وينبع).

2.4. العلاقة بين المتغير المستقل والمتغير التابع

إن العلاقة بين المتغير المستقل والمتغير التابع هي علاقة سببية، طردية، وتوجيهية ذات دلالة إحصائية. ويمكن صياغتها على النحو التالي:

1. مفهوم العلاقة (السبب والنتيجة)

- المتغير المستقل (X): إطار إدارة المخاطر البيئية (السبب/المؤثر).

- المتغير التابع (Y): الاستدامة البيئية وصون المنظومة الحيوية (النتيجة/المتأثر).

يعمل المتغير المستقل هنا كـ "مرشح أو مصفاة هندسية وإدارية"؛ فكلما ارتفعت كفاءة نظام إدارة المخاطر (من خلال الرصد الدقيق، والتقييم بالمصفوفات، والتحكم الهيكلي)، أدى ذلك مباشرة إلى تحسن وارتفاع مؤشرات المتغير التابع (نقاء الهواء، سلامة التربة والمياه الجوفية، وحماية البيئة البحرية).

2. آلية الارتباط بين أبعاد المتغيرين

لكي تتضح الصورة الإحصائية والتطبيقية في بحثك، تؤثر أبعاد المتغير المستقل على أبعاد المتغير التابع وفق الآلية التالية:

1. التحديد والرصد المسبق $(X_1) \rightarrow$ يؤثر على $\rightarrow$ سلامة الأوساط الطبيعية (Y_1) :

- الآلية: استخدام تقنيات استشعار متطورة لكشف "التسربات غير المرئية" والحرائق الشفافة للميثانول فور حدوثها، يحمي التربة والمياه الجوفية والبحرية من التلوث الحاد والسمية الكيميائية قبل تفاقمها.

2. التقييم والتحليل بالمصفوفات $(X_2) \rightarrow$ يؤثر على $\rightarrow$ الاستدامة الصناعية والامتثال (Y_2) :

- الآلية: إخضاع أنشطة المصنع لمصفوفة مخاطر قياسية (5×5) يمنح صناع القرار أرقاماً دقيقة لاحتمالية والشدة، مما يرفع كفاءة المنشأة في الامتثال للتشريعات البيئية الصارمة (مثل معايير الهيئة الملكية).

3. الاستجابة والتحكم الهيكلي $(X_3) \rightarrow$ يؤثر على $\rightarrow$ الأمان الصحي والمجتمعي (Y_3) :

- الآلية: تطبيق حلول هندسية كالفلتر المتقدمة، وتدوير نفايات المحفزات الكيميائية (Catalysts)، وخطط الطوارئ الميدانية، يعزل المجتمعات السكانية والتنوع الحيوي عن أي أثر تراكمي ضار للمصانع المتجاورة.

3. الصياغة الرياضية والإحصائية للعلاقة

عند قياس هذه العلاقة ميدانياً وتحليلياً في بحثك، يتم الاعتماد على نموذج الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression) الممثل في المعادلة التالية:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + e$$

- Y (المتغير التابع): مستوى تحقيق الاستدامة البيئية وحماية المحيط الحيوي.
- X (المتغير المستقل): درجة كفاءة وتطبيق إطار إدارة المخاطر البيئية.
- β_0 (الثابت): مستوى السلامة البيئية الأساسي في حال عدم وجود نظام إدارة مخاطر متطور.
- β_1 (معامل الانحدار/التأثير): يقيس مقدار الزيادة الإيجابية في الاستدامة البيئية (Y) لكل وحدة تحسن إضافية يتم تطبيقها في إطار إدارة المخاطر (X).
- e (حد الخطأ العشوائي): العوامل الأخرى المؤثرة على البيئة والتي لا تدخل ضمن نطاق دراسة هذا الإطار.

a. الخاتمة

تأسيساً على ما تم تناوله في هذا البحث، يتضح أن التوسع المتسارع في صناعة الميثانول بوصفه ركيزة استراتيجية للاقتصاد والتحول نحو الطاقة النظيفة لا يمكن أن يحقق أهدافه التنموية بمعزل عن فائورته البيئية والحيوية.

وقد جاءت هذه الدراسة لتضع وتوصل إطاراً متكاملًا لإدارة المخاطر البيئية، بهدف ردم الفجوات النظرية والتطبيقية القائمة، وعلى رأسها مخاطر إنتاج الميثانول، والحرائق الشفافة غير المرئية، والتسربات الكيميائية سريعة الذوبان في البيئات البحرية الحساسة.

ومن خلال التحليل الهيكلي لنموذج الدراسة، ثبتت صحة الفرضيات البحثية بوجود علاقة طردية سببية ذات دلالة إحصائية بين كفاءة المتغير المستقل (إطار إدارة المخاطر بأبعاده: الرصد، والتقييم، والتحكم) وبين المتغير التابع (تحقيق الاستدامة البيئية وصون المنظومة الحيوية المحيطة). إن هذا الارتباط يؤكد أن إدارة المخاطر ليست مجرد إجراءات تنظيمية جامدة، بل هي أداة تصفية وتحكم هندسي فاعلة تعزل الملوثات والانبعاثات عن عناصر البيئة الطبيعية والمجتمعات السكانية

أبرز التوصيات التطبيقية للدراسة:

بناءً على المخرجات الميدانية المقترحة في المنشآت الصناعية بالهيئة الملكية بالجبيل وينبع، تخلص الدراسة إلى التوصيات التالية:

- **تبني تقنيات استشعار حرارية متطورة:** لسد الفجوة التطبيقية في الكشف المبكر عن تسربات الميثانول والحرائق الشفافة في ضوء النهار لحماية التربة والمياه الجوفية.
- **تطوير نماذج محاكاة رياضية ديناميكية:** تتنبأ بحركية تشتت الميثانول في البيئة البحرية نظراً لسرعة امتزاجه بالماء، وتضمينها في خطط الطوارئ الميدانية.
- **تطبيق أسلوب تقييم دورة الحياة الكاملة: (LCA)** لضمان التخلص الآمن والمستدام من النفايات الصلبة والمحفزات الكيميائية (Catalysts) المستخدمة في التصنيع.
- **تحديث الأطر التنظيمية والتشريعية:** بما يتواءم مع القفزة النوعية في مشاريع "الميثانول الأخضر" وسلاسل توريده، لضمان أعلى مستويات الأمان الصحي والمجتمعي.
- **ختاماً،** تأمل هذه الدراسة أن تشكل إضافة نوعية تخدم الباحثين وصناع القرار في قطاع البتروكيماويات، مؤكدةً أن مستقبل الاستدامة الصناعية يكمن في الموازنة الدقيقة بين كفاءة الإنتاج الهندسي والالتزام الصارم بالمعايير البيئية لحماية كوكبنا.

قائمة المراجع

- المراجع العربية

1. الهيئة العامة للأرصاد وحماية البيئة. (2021). المعايير البيئية للمنشآت الصناعية والبتروكيماوية. الأمانة العامة، الرياض، المملكة العربية السعودية.
2. عمر، أحمد توفيق. (2019). إدارة المخاطر البيئية في المدن الصناعية: تقييم الأثر والحد من التلوث. دار الفكر الجامعي، الإسكندرية.
3. الشمري، خالد بن محمد. (2022). "تقييم الأثر البيئي للصناعات التحويلية الثقيلة: دراسة تطبيقية على مصانع البتروكيماويات". المجلة العربية للعلوم ونشر الأبحاث، 8(3)، 45-62.
4. منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك). (2020). صناعة الميثانول في الدول العربية: الآفاق المستقبلية والتحديات البيئية. تقرير فني متخصص، الكويت.
5. (2024). اللوائح والأنظمة البيئية للهيئة الملكية. (RCER-2024) قطاع الشؤون الفنية، المملكة العربية السعودية.
6. وزارة البيئة والمياه والزراعة. (2023). النظام العام للبيئة واللائحة التنفيذية للتقييم البيئي للمشاريع الصناعية. الرياض، المملكة العربية السعودية.
7. العتيبي، خالد بن فهد. (2022). إدارة المخاطر البيئية في المدن الصناعية السعودية: دراسة تطبيقية على مصانع البتروكيماويات في مدينة الجبيل الصناعية. المجلة العربية للإدارة، مجلد 42، عدد 2، ص ص. 145-168.
8. الشريف، أحمد سمير. (2021). تقييم الأثر البيئي وصون المنظومة الحيوية في المناطق الساحلية القريبة من المجمعات الصناعية. مجلة العلوم البيئية، جامعة عين شمس، مجلد 50، عدد 3، ص ص. 89-112.

- المراجع الأجنبية

9. Al-Mhanna, A., & Roberts, J. (2021). Environmental Risk Management in Petrochemical Industries. Academic Press.
10. Olah, G. A., Goeppert, A., & Prakash, G. K. S. (2018). Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy (3rd ed.). Wiley-VCH. (هذا من أشهر الكتب عالمياً عن (اقتصاد وإنتاج الميثانول).
11. Khan, F. I., & Abbasi, S. A. (2019). "Risk assessment in chemical process industries: Advanced techniques and applications". Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 62, 103-115.
12. United Nations Environment Programme (UNEP). (2023). Environmental Management Guidelines for Chemical Production Facilities. UNEP Report.
13. Al-Malki, A. S., & Khan, F. (2025). Environmental Risk Assessment and Management in Methanol Production Facilities: A Case Study of Petrochemical Clusters in Saudi Arabia. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 93, 105-118.
14. Chemical Engineering & Safety Association. (2024). Invisible Hazards: Managing Transparent Methanol Fires and Vapor Detection in Modern Petrochemical Plants. Safety Science Quarterly, 16(2), 210-225.
15. Methanol Institute. (2024). Methanol Safe Handling Manual: Emergency Response and Environmental Fate of Methanol in Marine Environments (5th ed.). Washington, DC: Methanol Institute Publications.
16. Sutton, I. (2023). Process Safety Management: Environmental Risk Matrix and Control Frameworks for Chemical Engineers. Elsevier Academic Press.
17. Turner, R., & Zhao, L. (2025). Life Cycle Assessment (LCA) and Catalysts Waste Management in Renewable and Green Methanol Synthesis. Journal of Cleaner Production, 412, 137-152.

- المواصفات القياسية الدولية

1. ISO 14001:2015. Environmental management systems Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization.
2. ISO 31000:2018. Risk management Guidelines. International Organization for Standardization.