منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)

انبعاثات صناعة تكرير النفط مصادرها وطرق معالجتها

دولة الكويت
كانون الأول/ ديسمبر 2017

جميع حقوق الطبع محفوظة، ولا يجوز إعادة النشر او الاقتباس دون إذن خطي مسبق من المنظمة، 2017.

منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)
ص.ب 20501 الصفاة الكويت 13066
هاتف 24959000 (965+)- فاكس 24959755 (965+)
P.O. Box 20501 Safat Kuwait 13066
Tel.: (+965) 24959000 – Fax.: (+965) 24959755
Website : www.oapecorg.org
Email: oapec@oapecorg.org
Email: oapec@oapec.fasttelco.com

منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)

انبعاثات صناعة تكرير النفط مصادرها وطرق معالجتها

دولة الكويت
كانون الأول/ ديسمبر 2017

مقدمة

شهدت صناعة تكرير النفط في العقود الأربعة الماضية تطورات مهمة في مجال خفض الانبعاثات الناتجة عن عمليات التكرير، مدفوعة بتنامي الوعي بأهمية الحد من طرح الملوثات التي يمكن أن تشكل خطراً على صحة الإنسان وسلامة البيئة.

تهدف هذه الدراسة إلى التعريف بأنواع ومصادر الانبعاثات الغازية التي تطلقها مصافي النفط إلى الغلاف الجوي، وأفضل التقنيات الممكنة للحد من هذه الانبعاثات بأسهل الطرق، وأقل التكاليف، مع الإشارة إلى أهمية إعداد الخطط الوطنية لخفض الانبعاثات، وتحديد آليات ووسائل مراقبة أداء المصافي، وضبط معدلات الملوثات التي تطرحها، بهدف تحسين جودة الهواء الجوي، والمحافظة على سلامة البيئة.

يتضمن الفصل الأول تعريفاً بأنواع ومصادر الانبعاثات التي تطرحها عمليات التكرير في مصافي النفط، وأهم العوامل المؤثرة في كميتها. وانعكاسات تطبيق تقنيات خفض الانبعاثات على كل من صحة الإنسان والبيئة وأداء صناعة التكرير.

ويتضمن الفصل الثاني عرضاً لأهم التقنيات الممكن تطبيقها لتخفيض الانبعاثات التي تطرحها مصافي النفط، حسب كل نوع من أنواع الملوثات ومصادرها، مع إجراء مقارنة بين الخيارات المتاحة لتنفيذ كل تقنية، وبيان العوامل المساعدة على نجاحها، والخطوات الواجب اتباعها لاختيار أفضل التقنيات المناسبة لظروف المصفاة، مع التركيز على أهمية الإجراءات الوقائية التي تمنع تشكل الانبعاثات، كترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها، وتطوير برامج صيانة المعدات، واختيار تقنيات التكرير التي ينتج عنها ملوثات أقل، والاهتمام بالتدريب المستمر للعاملين.

أما الفصل الثالث فيتناول دور برنامج إدارة انبعاثات مصافي النفط، في تأمين البيانات التي تعتمد عليها الجهة الحكومية في إصدار التشريعات التي تلزم المصافي باتخاذ إجراءات خفض انبعاثاتها، وتحديد المعدلات القصوى التي يجب أن تلتزم بها كل مصفاة.

ويتضمن الفصل الرابع ملخصاً لعدد من التجارب العملية التي قامت بتنفيذها بعض مصافي النفط في الدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول "أوابك" وفي مناطق أخرى من العالم. مع الإشارة إلى الصعوبات التي واجهت عملية التنفيذ، والنتائج والتوصيات التي توصل إليها فريق العمل المكلف بمتابعة إنجاز المشروع، والتي تعتبر دروساً للاستفادة منها في تذليل الصعوبات التي يمكن أن تواجه الراغبين في تنفيذ مشاريع مشابهة.

تأمل الأمانة العامة أن تحقق هذه الدراسة الأهداف المرجوة في تعزيز الجهود التي تبذلها الدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول "أوابك" للمحافظة على صحة الانسان وسلامة البيئة، والارتقاء بأداء صناعة تكرير النفط إلى المستويات العالمية.

والله ولي التوفيق،،

الأمين العام

عباس علي النقي

قائمة المحتويات

الموضـــــوع	رقم الصفحة
مقدمة	3
قائمة المحتويات	5
قائمة الأشكال	7
قائمة الجداول	9
ملخص تنفيذي	11
قائمة المصطلحات Abbreviations	33
الفصل الأول: أنواع ومصادر انبعاثات مصافي النفط	**35**
1-1: تصنيف انبعاثات مصافي النفط	37
1-2: مصادر انبعاثات مصافي النفط	46
1-2-1: حرق الوقود	47
1-2-2: عمليات التكرير	48
1-2-3: عمليات استرجاع الكبريت	48
1-2-4: منظومة تخزين وتحميل وتفريغ النفط الخام والمنتجات النفطية	49
1-2-5: وحدة معالجة المياه الملوثة	50
1-2-6: منظومة تصريف الغازات والسوائل الخطرة	51
1-2-7: منظومة أبراج مياه التبريد	51
1-3: العوامل المؤثرة في كمية انبعاثات مصافي النفط	52
1-3-1: نوع النفط الخام المكرر	53
1-3-2: نوع عمليات التكرير في المصفاة	55
1-3-3: جودة مواصفات منتجات المصفاة	56
1-3-4: نوع الوقود المستخدم	57
1-3-5: حجم الطاقة التكريرية	58
1-3-6: توفر نظم القياس ومراقبة كمية انبعاثات المصفاة	59
1-4: انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط	59
1-4-1: انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط على صحة الإنسان	60
1-4-2: انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط على البيئة	62
1-4-3: انعكاسات خفض الانبعاثات على ربحية صناعة التكرير	63
الفصل الثاني: تقنيات خفض انبعاثات مصافي النفط	**65**
2-1: تقنيات خفض انبعاثات حرق الوقود	67
2-1-1: تقنيات خفض انبعاثات أكاسيد الكبريت	69
2-1-2: تقنيات خفض انبعاثات الكربون	74
2-1-3: تقنيات خفض أكاسيد النيتروجين	76

يتبع: قائمة المحتويات

الموضـــــوع	رقم الصفحة
2-1-4: تقنيات خفض انبعاث الجسيمات الدقيقة	81
2-2: تقنيات خفض انبعاثات وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع	83
2-3: تقنيات خفض انبعاثات وحدات استرجاع الكبريت	85
2-4: تقنيات خفض انبعاثات شبكات خطوط الأنابيب والمعدات	86
2-5: خفض انبعاثات خزانات النفط الخام والمنتجات النفطية	91
2-6: تقنيات خفض انبعاثات منظومة تحميل وتفريغ المنتجات	95
2-7: تقنيات خفض الانبعاثات الهيدروكربونية من وحدة معالجة المياه الملوثة	96
2-8: تقنيات خفض انبعاثات حرق الغازات في الشعلة	98
2-9: إدارة الروائح المنبعثة من المصفاة	100
2-10: عوامل اختيار التقنية الأنسب لخفض انبعاثات مصافي النفط	101
الفصل الثالث: برنامج إدارة انبعاثات مصافي النفط	**103**
1-3: الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط	105
3-1-1: عناصر الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات المصافي	106
3-1-2: عوامل نجاح خطة إدارة انبعاثات المصافي	115
2-3: قائمة جرد انبعاثات المصافي	117
3-2-1: مراحل إعداد قائمة جرد الانبعاثات	118
3-2-2: تدقيق بيانات قائمة جرد الانبعاثات	119
3-2-3: عوامل نجاح إعداد قائمة جرد الانبعاثات	121
3-3: طرق حساب كمية الانبعاثات	121
3-3-1: حساب الانبعاثات المتسربة من عمليات التكرير	126
3-3-2: حساب انبعاثات خزانات النفط الخام والمنتجات	127
3-3-3: حساب انبعاثات محطات تحميل النفط الخام والمنتجات	127
3-3-4: حساب انبعاثات وحدات معالجة المياه الملوثة	128
3-3-5: حساب كمية الانبعاثات أبراج مياه التبريد	130
3-3-6: حساب انبعاثات الحوادث الطارئة	131
3-3-7: حساب انبعاثات حرق الوقود في الأفران	131
3-3-8: حساب انبعاثات منظومة الشعلة	132
4-3: تشريعات ضبط انبعاثات مصافي النفط	132
3-4-1: مراحل عملية إصدار تشريعات ضبط الانبعاثات	134
3-4-2: تشريعات منح ترخيص إنشاء مصفاة جديدة	135
الفصل الرابع: أمثلة عملية لمشاريع خفض انبعاثات مصافي النفط	**141**
1-4: أمثلة لمشاريع خفض الانبعاثات في الدول الأعضاء في أوابك	143

يتبع: قائمة المحتويات

الموضـــــوع	رقم الصفحة
4-1-1: تجربة دولة الكويت في إعداد خطة خفض انبعاثات مصافي النفط	145
4-1-2: تجربة شركة أرامكو السعودية لخفض الانبعاثات المتسربة من منشأة شدقم لمعالجة الغاز الطبيعي	161
4-2: أمثلة لمشاريع خفض انبعاثات مصافي النفط في مناطق العالم	163
4-2-1: تجربة تخفيض الانبعاثات في مصفاة إنجين- جنوب أفريقيا	163
4-2-2: تطبيق منظومة إدارة البيانات البيئية في مصفاة تكساس-الولايات المتحدة الأمريكية	167
4-2-3: شروط ترخيص إنشاء مصفاة جديدة في أريزونا– الولايات المتحدة الأمريكية	169
4-2-4: خطة خفض انبعاثات مصفاة غوثنبرغ	175
4-2-5: مشروع تطوير مصفاة باين بيند	177
الاستنتاجات والتوصيات	187
قائمة المراجع	191
Abstract	197

قائمـة الأشـكال

الشـــــكل	رقم الصفحة
الفصل الأول	
1-1: توزع نسب مصادر الجسيمات الدقيقة في الهواء الجوي	43
1-2: مصادر وكمية انبعاثات مصافي النفط الأمريكية 2010	47
1-3: نموذج أبراج مياه التبريد في مصفاة النفط	52
1-4: انبعاثات غاز ثاني أوكســـيد الكربون التي تطلقها مصـــافي النفط في بعض مناطق الولايات المتحدة الأمريكية	55
1-5: معدل استهلاك الطاقة في مصافي الولايات المتحدة الأمريكية حسب نوع عمليات التكرير	56
1-6: العلاقة بين معدل انبعاثات المصفاة ونسبة الكبريت في المواصفات القياسية للغازولين والديزل	57
الفصل الثاني	
2-1: العلاقة بين نسبة الكبريت في الوقود وكمية أكاسيد الكبريت في غازات المدخنة	70
2-2: سير عملية كانسولف لامتصاص غاز ثاني أكسيد الكبريت من غازات المدخنة	73
2-3: مخطط عملية لابسورب لنزع أكاسيد الكبريت من غازات المدخنة	74
2-4: فصل غاز ثاني أكسيد الكربون من غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة	75
2-5: وحدة كانسولف المتكاملة لنزع أكاسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون من غازات المدخنة	76
2-6: مبدأ عمل الحراق منخفض أكاسيد النيتروجين	78
2-7: تقليب غازات الاحتراق لخفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين من الأفران	78
2-8: عملية خفض النيتروجين بالعامل الحفاز من غازات المدخنة	79
2-9: مقارنة بين عمليتي الخفض الانتقائي لأكاسيد النيتروجين من غازات المدخنة	80
2-10: مخطط منظومة المرسبات الكهروستاتيكية	82
2-11: مانعة تسرب ميكانيكية لمحور مضخة	88
2-12: طريقة كشف التسربات الغازية باستخدام منظار عن بعد	90
2-13: فحص تركيز الهيدروكربونات المتسربة من نقاط تصفية خطوط الأنابيب	90
2-14: نموذج غطاء فوهات قياس مستوى الخزان	92
2-15: موانع التسرب الواحدة والمضاعفة في خزان السقف العائم	93
2-16: خزان غازولين بسقفين عائم وثابت	93
2-17: وحدة استرجاع أبخرة تخزين النفط والمنتجات النفطية	94
2-18: نظام تعبئة حاويات المشتقات النفطية من الأسفل	95
2-19: مخطط وحدة استرجاع غازات الشعلة	99
الفصل الثالث	
3-1: عناصر الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط	106
3-2: مراحل إعداد قائمة جرد الانبعاثات	119
3-3: محطة قياس الملوثات الغازية في الهواء الجوي بطريقة فوريير	123

يتبع: قائمة الأشكال

الشـــــكل	رقم الصفحة
4-3: طريقة قياس تركيز الهيدروكربونات باستخدام الفرق في انعكاس حزمة أشعة الليزر	124
الفصل الرابع	
4-1: فعاليات إعداد قائمة جرد انبعاثات مصافي النفط الكويتية	148
4-2: تأثير تركيب المرسبات الكهروستاتيكية على معدل انبعاثات الجسيمات الدقيقة في وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع في مصفاة الأحمدي	156
4-3: تأثير تركيب حراقات منخفضة أكاسيد النيتروجين على معدل انبعاثات أكاسيد النيتروجين في مدخنة مراجل بخار مصفاة الأحمدي	157
4-4: تأثير تركيب حراقات منخفضة النيتروجين على معدل انبعاثات أكاسيد النيتروجين في مداخن أفران مصفاة ميناء عبد الله	158
4-5: تطور نسبة غاز كبريتيد الهيدروجين في شبكة الوقود الغازي لمصفاة الأحمدي	159
4-6: مخطط منظومة أخذ العينات ذات الدورة المغلقة	160
4-7: معدل تخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت في مصفاة إنجين نتيجة تغيير نوع الوقود المستخدم في المصفاة	166
4-8: مكونات منظومة إدارة بيانات الانبعاثات في مصفاة تكساس	169
4-9: مخطط سير عمليات مصفاة أريزونا	171
4-10: توزع انبعاثات المركبات العضوية الطيارة من مصفاة غوثنمبرغ خلال الفترة 1996 -2008	176
4-11: مقارنة معدل الانبعاثات قبل وبعد تنفيذ خطة خفض الانبعاثات	177
4-12: تطور تركيز ثاني أكسيد الكبريت وثاني أوكسيد النيتروجين في الهواء الجوي المحيط بالمصفاة بعد تنفيذ مشروع التطوير	182
4-13: تطور أول أكسيد الكربون في الهواء الجوي المحيط بالمصفاة وبين القيم القصوى المحددة في معايير قانون الهواء النظيف	183

قائمـة الجداول

الجـــدول	رقم الصفحة
الفصل الأول	
1-1: أهم الانبعاثات الناتجة عن صناعة تكرير النفط ومصادرها	39
1-2: توزع نسب مصادر انبعاثات المركبات العضوية الطيارة في مصافي النفط	45
1-3: المعدل الوسطي لأهم انبعاثات مصافي النفط	53
1-4: مقارنة بين جودة بعض أنواع النفط الخام	54
1-5: كمية CO_2 المنبعثة من الفرن حسب نوع الوقود	58
1-6: كفاءة استرجاع الكبريت وفقاً للطاقة الانتاجية للوحدة	59
الفصل الثاني	
2-1: مقارنة طرق معالجة غازات المدخنة	72
2-2: خيارات خفض انبعاثات وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع	85
2-3: القيم القصوى لتركيز انبعاثات الروائح المزعجة	101
الفصل الثالث	
3-1: بيانات التقارير الدورية التي تقدمها المصافي إلى الجهات الحكومية	114
3-2: نموذج قائمة جرد انبعاثات مصافي النفط	117
3-3: معاملات انبعاثات محطات تحميل المنتجات البترولية	128
3-4: معاملات الانبعاث في وحدة معالجة المياه الملوثة	130
الفصل الرابع	
4-1: تركيز الملوثات في المناطق السكنية في دولة الكويت حسب سجلات المصافي	154
4-2: القيم المقاســـة والمتوقعة لتركيز الملوثات في الهواء الجوي في المناطق الســـكنية ومقارنتها بمعايير الهيئة العامة للبيئة	154
4-3: القيم القصوى لبعض انبعاثات مصافي النفط في المعايير الوطنية لدولة الكويت	155
4-4: نتائج مراقبة تركيز المركبات العضوية الطيارة في جو المصفاة	166
4-5: المعدات الجديدة والمعدلة في مشروع تطوير وحدة التفحيم وإجراءات خفض الانبعاثات المطبقة	179
4-6: المعدات الجديدة والمعدلة في مشروع تعزيز إنتاج الديزل، وإجراءات خفض الانبعاثات المطبقة	180
4-7: مقارنة بين كمية انبعاثات المصفاة قبل وبعد مشروع التطوير	182

ملخص تنفيذي

تستهلك مصافي النفط كمية كبيرة من الوقود في عمليات التكرير، ولإنتاج بخار الماء وتوليد الطاقة الكهربائية. وينتج عن حرق الوقود انبعاثات غازية ضارة بصحة الإنسان والبيئة.

تصنيف انبعاثات مصافي النفط

تصنف انبعاثات مصافي النفط تبعاً لمصدرها في مجموعتين رئيسيتين، الأولى مجموعة الانبعاثات الهيدروكربونية، وهي المركبات العضوية التي تنتج عن تسرب المواد الهيدروكربونية من الأوعية وخطوط الأنابيب، والخزانات. أما المجموعة الثانية فتتكون من نواتج حرق الوقود في أفران عمليات التكرير ومحطات توليد بخار الماء والطاقة الكهربائية، مثل أكاسيد الكبريت SOx، وأكاسيد النيتروجين NOx وغاز ثاني أكسيد الكربون CO_2. يبين الجدول 1 أهم الانبعاثات الناتجة عن مصافي النفط، ومصادرها.

- **أكاسيد الكربون COx**

يعتبر غاز ثاني أكسيد الكربون من المركبات الضرورية للحياة البيولوجية، وعند المستويات الطبيعية ليس له آثار سلبية، إلا أنه قد يؤدي إلى حدوث أضرار على صحة الإنسان أو البيئة عندما تتجاوز نسبته في الهواء الجوي الحدود الطبيعية.

ينبعث غاز ثاني أكسيد الكربون في مصافي النفط بشكل رئيسي من أفران عمليات التكرير، والمراجل البخارية، ومحطات توليد الطاقة الكهربائية، وعمليات حرق الكربون أثناء تنشيط العامل الحفاز في وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC، وحرق الغازات الفائضة في منظومة الشعلة. كما تطلق مصافي النفط أول أكسيد الكربون CO من حرق الوقود في أفران عمليات التكرير، وحرق الغازات الفائضة في الشعلة. وتعتمد كمية غاز أول أكسيد الكربون المتشكل على نوع الوقود

المستخدم في الأفران، وجودة الحراقات المستخدمة، ومدى قدرتها على ضبط نسبة الأوكسجين الداخل إلى الحراق بالقيمة التي تضمن ضبط تفاعل حرق الكربون لتحويل أول أكسيد الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون.

الجدول 1: أهم الانبعاثات الناتجة عن صناعة تكرير النفط ومصادرها

الانبعاثات	المصدر
COx	• أفران عمليات التكرير • مراجل البخار وتوليد الطاقة الكهربائية • تنشيط العامل الحفاز في وحدات FCC • منظومة الشعلة
SOx	• أفران عمليات التكرير • مراجل البخار وتوليد الطاقة الكهربائية • تنشيط العامل الحفاز في وحدات FCC • منظومة الشعلة • وحدة استرجاع الكبريت
NOx	• أفران عمليات التكرير • مراجل البخار وتوليد الطاقة الكهربائية • تنشيط العامل الحفاز في وحدات FCC • منظومة الشعلة
المركبات العضوية الطيارة VOC	• تخزين ونقل وتحميل النفط الخام والمشتقات النفطية • وحدات معالجة المياه الملوثة • تنفيس الأوعية لتخفيض ضغطها • تسرب الهيدروكربونات من المعدات
الجزيئات الصلبة PM، والمعادن	• أفران عمليات التكرير • مراجل البخار وتوليد الطاقة الكهربائية • تنشيط العامل الحفاز في وحدات FCC • حرق الغازات في منظومة الشعلة

- **أكاسيد الكبريت SOx**

تنطلق أكاسيد الكبريت نتيجة احتراق المركبات الكبريتية الموجودة في الوقود المستخدم في الأفران، ومراجل إنتاج بخار الماء، ومحطات توليد الطاقة الكهربائية، ومن حرق الغازات الفائضة في الشعلة، ومصادر أخرى متنوعة. لانبعاثات أكاسيد الكبريت أضرار شديدة على صحة الإنسان والبيئة، وذلك عندما تتفاعل مع رطوبة الجو لتشكل ذرات حمض الكبريت، أو ما يسمى بالمطر الحمضي، الذي يسبب تلف المزروعات، وتآكل الهياكل والمنشآت المعدنية. (Ramboll, 2014)

- **أكاسيد النيتروجين NOx**

تختلف كمية أكاسيد النيتروجين المنبعثة من المصفاة باختلاف نوع الوقود المستخدم ومحتواه من المركبات النيتروجينية والهيدروجين، فكلما زادت نسبة الهيدروجين في الوقود ارتفعت درجة حرارة اللهب، وبالتالي تزداد كمية NOx المنبعثة.

- **الجسيمات الدقيقة**

تتشكل الجسيمات الدقيقة Particulate Matter (PM) في المصفاة إما نتيجة حرق الوقود في أفران العمليات ومراجل إنتاج البخار ومحطات توليد الطاقة الكهربائية، أو من عمليات خاصة تجري في الوحدات الإنتاجية، مثل عمليات حرق الكربون المترسب على سطح العامل الحفاز.

- **المركبات العضوية الطيارة**

تتكون المركبات العضوية الطيارة VOC من مجموعة من مواد هيدروكربونية غازية تحتوي على ذرات الكربون، أهمها، الهيدروجين، والميثان، وبعض المركبات العضوية الخفيفة، مثل الإثيلين، والبروبان، والبروبيلين، والبيوتين

والبيوتيلين، والبنتـان، والألكيلات، والبنزين العطري، والتولوين، والزايلين، والفينول، والعطريـات التي تحتوي على تســع ذرات كربون، إضـــافة إلى الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات PAH، والغازات غير العضـــوية، مثل حمض فلور الماء، والأمونيا، وكبريتيد الهيدروجين H_2S.

تنبعث المركبات العضـوية الطيارة على شـكل غيوم هيدروكربونية متناثرة في الجو Fugitive Emissions، إما نتيجة تســرب المواد الهيدروكربونية من توصـيلات الأنابيب والصـمامات، ومحاور المضـخات والضـواغط، أو من أحواض فصـــل الزيت ومعدات وحدات معالجة المياه الملوثة، ومن خزانات النفط الخام والمنتجات النفطية، وعمليات تفريغ وتعبئة حاويات النفط الخام والمشتقات النفطية.

مصادر الانبعاثات الهوائية في مصافي النفط

تتكون مصـــافي النفط من مجموعة من العمليات المعقدة التي تهدف إلى تحويل النفط الخام إلى مشـتقات قابلة للاسـتهلاك. وتصـنف مصـادر الانبعاثات الهوائية في مصافي النفط ضمن مجموعات رئيسية على النحو التالي:

- **حرق الوقود**

تشكل الانبعاثات الناتجة عن حرق الوقود في أفران عمليات التكرير، ومحطات توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء، الجزء الأكبر من كمية انبعاثات المصـفاة، وهي أكاسـيد الكربون وأكاسـيد النيتروجين، وأكاسـيد الكبريت، والجسـيمات الدقيقة، إضافة إلى الهيدروكربونات غير المحترقة.

- **عمليات التكرير**

تشـتمل عمليات التكرير على وحدات تطلق بعض الانبعاثات الملوثة للبيئة، مثل عمليات تنشـيط العامل الحفاز Catalyst. وقد تتم هذه العمليات بشـكل مسـتمر كعمليات التكسـير بالعامل الحفاز المائع FCC، حيث يتم تنشـيط العامل الحفاز

بحرق الكربون المترسب على سطحه بشكل مستمر، وفي وحدة تهذيب النافثا بالعامل الحفاز بطريقة التنشيط المستمر CCR[1]. وقد تتم عملية تنشيط العامل الحفاز بشكل متقطع على فترات زمنية تتراوح من بضعة أشهر وحتى عدة سنوات، مثل عمليات التكسير الهيدروجيني، أو المعالجة الهيدروجينية، أو الأزمرة.

- **عملية استرجاع الكبريت Sulfur Recovery Process**

تتكون انبعاثات وحدة استرجاع الكبريت من الغازات الناتجة عن حرق الوقود في الفرن، ومن عمليات حرق الكربون المترسب على سطح العامل الحفاز أثناء عملية التنشيط، وهي أكاسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين وأكاسيد الكبريت، والجسيمات الدقيقة. إضافة إلى مركبات عضوية طيارة ومركبات كبريتية تنطلق من مدخنة تصريف الغازات الفائضة عن التفاعل Tail Gas، وانبعاثات متسربة ناتجة عن تسرب المواد الهيدروكربونية من الصمامات والتوصيلات والمضخات والضواغط.

- **منظومة تخزين وتحميل وتفريغ النفط الخام والمنتجات النفطية**

تعتبر خزانات النفط والمنتجات النفطية المنتشرة في المصفاة من المصادر المهمة للانبعاثات الغازية، التي تنتج في حالات التبخر العادي بتأثير العوامل الجوية من الحواف الفاصلة بين جدار الخزان والسطح العائم، وعمليات التفريغ والتعبئة من وإلى الخزان، وعمليات التصفية، والتسرب من سطح إحكام صمام الأمان في الخزانات المضغوطة.

- **وحدة معالجة المياه الملوثة Waste Water Treatment**

تنطلق الانبعاثات الغازية من وحدة تجميع ومعالجة المياه الملوثة في مصفاة النفط

[1] Continuous Catalytic Reforming

من المصادر الرئيسية التالية:

- ✓ خطوط تجميع نقاط تصفية أوعية الوحدات الإنتاجية
- ✓ أحواض فصل الزيت عن الماء بالتثاقل API Separators
- ✓ أحواض التعويم بالهواء Air Flotation
- ✓ أحواض تجميع مياه الأمطار وأحواض تجميع المياه السطحية

- **منظومة تصريف الغازات والسوائل الخطرة Blowdown System**

تتكون وحدة تصريف السوائل والغازات الفائضة عن عمليات التكرير من مجموعة من الأوعية لفصل السوائل وترحيلها إلى خزانات خاصة ليعاد تكريرها، أما الغازات الخفيفة فترحل لحرقها في الشعلة.

تنطلق من منظومة تصريف الغازات والسوائل الخطرة انبعاثات غازية تتكون من أكاسيد الكبريت والكربون والنيتروجين، والجسيمات الدقيقة، وذلك نتيجة حرق الغازات الهيدروكربونية في الشعلة. إضافة إلى مركبات عضوية طيارة ناتجة عن تسرب المواد الهيدروكربونية من الصمامات والتوصيلات.

- **منظومة أبراج مياه التبريد**

تنطلق من أعلى أبراج مياه التبريد ذرات ماء دقيقة الحجم ناتجة عن تبخر المياه الساخنة، وعندما يحدث تسرب في أحد المبادلات الحرارية تنتقل المواد الهيدروكربونية إلى المياه فتتبخر مشكلة انبعاثات من المركبات العضوية الطيارة إلى الهواء الجوي.

العوامل المؤثرة في كمية انبعاثات مصافي النفط

تعود أسباب التباين في كمية الانبعاثات التي تطلقها مصافي النفط إلى عوامل عديدة، أهمها: حجم الطاقة التكريرية للمصفاة، ونوع النفط الخام المكرر، وكثافة

استهلاك الطاقة، ونوع عمليات التكرير، ومدى تطور التقنيات المستخدمة فيها، ونوع الوقود المستخدم في أفران عمليات التكرير ومحطات توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء، والحالة الفنية لمعدات المصفاة، ومستوى برامج الصيانة الدورية والوقائية المطبقة على وحدات المصفاة، ومدى صرامة التشريعات الناظمة لمواصفات المنتجات النهائية، علاوة على عوامل أخرى كالظروف المناخية، وتوفر أجهزة التحكم بالانبعاثات في عمليات التكرير.

انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط

لا تقتصر انعكاسات تطبيق تشريعات خفض الانبعاثات على تحسين جودة الهواء الجوي والحد من آثارها الضارة على الإنسان والبيئة، بل تؤثر أيضاً على ربحية صناعة التكرير، وذلك نتيجة الأعباء التي تنتج عن التكاليف اللازمة لاتخاذ الإجراءات الممكنة للحد من الانبعاثات، وتركيب معدات المعالجة التي تمكنها من الامتثال لمتطلبات التشريعات البيئية.

انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط على صحة الإنسان

إن أي تخفيض في كمية الانبعاثات يساهم في خفض أخطار الإصابة بالأمراض، ويخفض معدل الوفيات، حيث أشارت دراسة نشرتها وكالة حماية البيئة الأمريكية أن الآثار السلبية لانبعاثات مصافي النفط يمكن أن تؤثر على صحة الأشخاص القاطنين في محيط دائرة يصل قطرها إلى حوالي 50 كيلومتر من موقع المصفاة.

انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط على البيئة

تشير بعض الدراسات إلى وجود دور لانبعاثات مصافي النفط في تشكل المطر الحمضي، علاوة على الروائح الكريهة التي تسبب إزعاج التجمعات السكنية المجاورة للمصفاة، وخصوصاً في الفترات التي يرتفع فيها تركيز الانبعاثات في الهواء الجوي عندما تكون سرعة الرياح منخفضة.

انعكاسات خفض الانبعاثات على ربحية صناعة التكرير

على الرغم من الأعباء المالية التي تتحملها المصـــفاة نتيجة تطبيق إجراءات برامج خفض الانبعاثات إلا أنها يمكن أن تســـاهم في تحســـين الربحية، من خلال استرجاع الغازات الهيدروكربونية، والاستفادة منها بدلاً من طرحها إلى الهواء الجوي أو حرقها، علاوة على القيمة المعنوية التي تكتسبها المصفاة لدى الجمهور والتجمعات السكنية المجاورة نتيجة التزامها بتلبية متطلبات تشريعات حماية البيئة من التلوث.

تقنيات خفض انبعاثات مصافي النفط

أدت الأعباء التي فرضتها التشريعات البيئية على صناعة تكرير النفط إلى دفع القائمين على هذه الصناعة نحو البحث عن أفضل التقنيات والإجراءات التي تساهم في خفض الانبعاثات بأقل التكاليف الممكنة.

تقنيات خفض انبعاثات حرق الوقود

تصـــنف تقنيات خفض الانبعاثات الناتجة عن حرق الوقود في مجموعتين، تتضـــمن المجموعة الأولى تقنيات ما قبل حرق الوقود، مثل تطبيق برنامج إدارة الطاقة، واستبدال نوع الوقود المستخدم، أو تحسين مواصفاته. أما المجموعة الثانية فتتضـــمن تقنيات ما بعد حرق الوقود، كمعالجة غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة.

تقنيات خفض انبعاثات أكاسيد الكبريت

يمكن خفض انبعاثات أكاســـيد الكبريت الناتجة عن حرق الوقود في الأفران ومحطات توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء من خلال ثلاث طرق. تعتمد الطريقة الأولى على مبدأ خفض كمية الكبريت في الوقود الداخل إلى الوحدة، وذلك من خلال عمليات المعالجة لنزع الكبريت بطريقة المعالجة الهيدروجينية، وتعتمد الطريقة الثانية على مبدأ استبدال الوقود بآخر يحتوي على نسبة أخفض من الكبريت، كالغاز الطبيعي.

أما الطريقة الثالثة فتعمد على مبدأ معالجة الغازات الناتجة عن احتراق الوقود قبل خروجها من المدخنة.

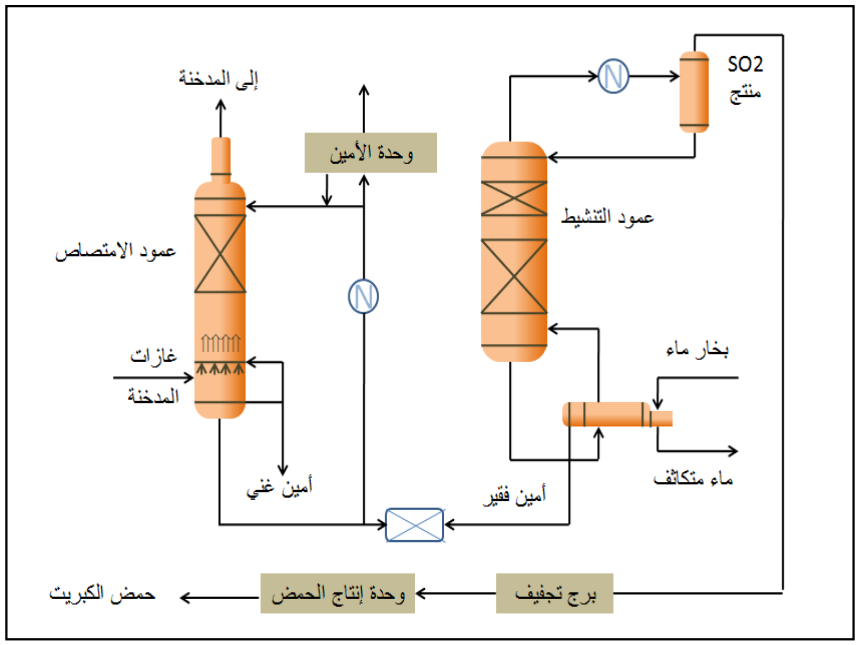
تصنف تقنيات نزع أكاسيد الكبريت من غازات المدخنة في ثلاث مجموعات، تقنيات جافة، وشبه جافة، ورطبة.

تعتمد طرق المعالجة الجافة على استخدام البيكربونات أو الكلس الحي، وتتميز ببساطة تركيبها وسهولة تشغيلها، ويمكن تركيبها في مساحة صغيرة، كما أن تكاليف صيانتها منخفضة، إلا أن من مساوئها محدودية طاقتها الاستيعابية عندما يبلغ تركيز الملوثات في غازات المدخنة إلى مستويات مرتفعة، فضلاً عن انخفاض مردودها.

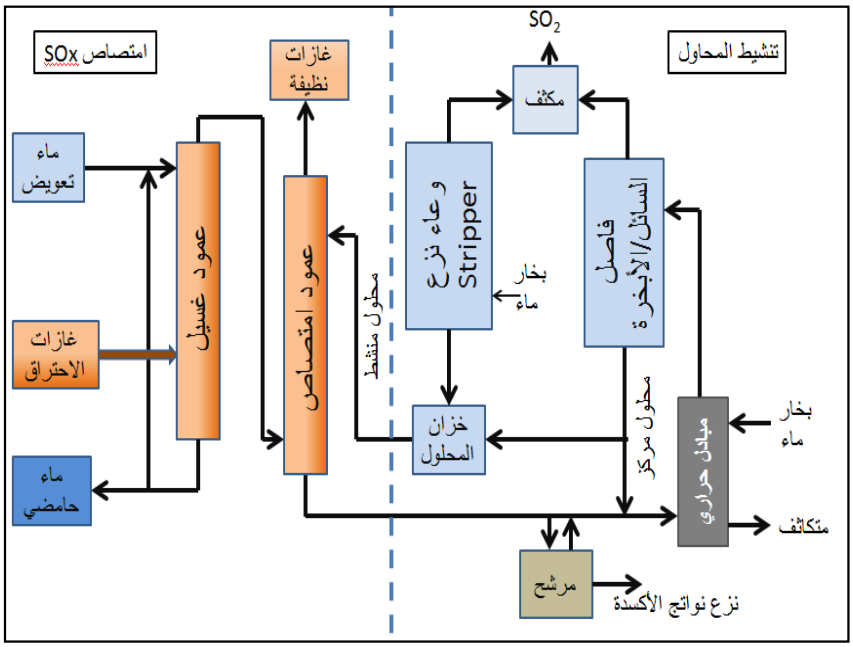
أما الطريقة الرطبة فتعتمد على امتصاص أكسيد الكبريت من غازات المدخنة بواسطة محلول قلوي كالصودا الكاوية أو محلول معتدل. وعلى الرغم من ارتفاع كفاءة هذه الطريقة، وقدرتها على تحمل تغيرات واسعة في نسبة الملوثات في الغازات الداخلة، إلا أن من مساوئها ارتفاع تكاليف الإنشاء والتشغيل، إضافة إلى تكاليف معالجة المياه الملوثة الناتجة عنها.

أحد أكثر الأمثلة انتشاراً لتقنية نزع أكاسيد الكبريت من غازات المدخنة بالتنشيط عملية كانسولف Cansolv، تأتي بعدها طريقة لابسورب Labsorb. يبين الشكل 1 سير عملية كانسولف لامتصاص غاز ثاني أكسيد الكبريت من غازات المدخنة. كما يبين الشكل 2 مخطط عملية لابسورب لنزع أكاسيد الكبريت من غازات المدخنة.

الشكل 1: سير عملية كانسولف لامتصاص غاز ثاني أكسيد الكبريت من غازات المدخنة



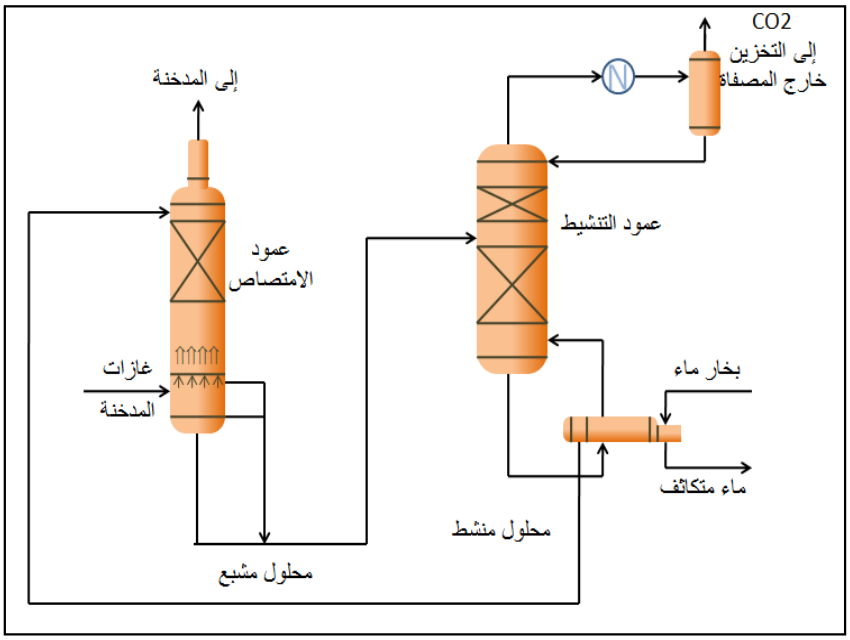
الشكل 2: مخطط عملية لابسورب لنزع أكاسيد الكبريت من غازات المدخنة



تقنيات خفض انبعاثات الكربون

يمكن خفض انبعاثات ثاني أكسـيد الكربون الناتجة عن حرق الوقود من خلال تقنيات تطبق في مرحلة ما قبل احتراق الوقود، كترشيد استهلاك الوقود، أو تغيير نوع الوقود المسـتخدم. ومنها ما يطبق بعد مرحلة الاحتراق كطريقة معالجة غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة. يبين الشكل 3 مخطط عملية فصل غاز ثاني أكسيد الكربون من غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة.

الشكل 3: فصل غاز ثاني أكسيد الكربون من غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة



تقنيات خفض أكاسيد النيتروجين

تختلف تقنيات خفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين NOx من حيث مكان تركيب التجهيزات، فمنها ما يعتمد على تعديل ظروف تشـغيل المعدات قبل احتراق الوقود من خلال تغيير نوع الوقود المسـتخدم، كاسـتعمال الغاز الطبيعي بدلاً من الوقود الثقيل، أو نزع المركبات النيتروجينية من الوقود بعمليات المعالجة الهيدروجينية، أو تقنيات ما

بعد احتراق الوقود، أو بتعديل معدات الاحتراق نفسها، كاستخدام حراقات متطورة، تساعد على خفض تشكل أكاسيد النيتروجين Low NOx Burners. أو بتقليب غازات المدخنة لاستخدامها كهواء احتراق في حراقات الفرن، بدلاً من الهواء الجوي الذي يحتوي على كمية أعلى من النيتروجين.

كما يمكن نزع أكاسيد النيتروجين من غازات الاحتراق بطريقتين، الأولى طريقة الخفض الانتقائي بدون عامل حفاز SNCR[1]، والثانية طريقة الخفض الانتقائي بالعامل الحفاز SCR[2].

تعتمد طريقة الخفض الانتقائي بالعامل الحفاز على مبدأ ملامسة غازات المدخنة بغاز الأمونيا في سرير يحتوي على عامل حفاز Catalyst Bed، حيث تتحول الأكاسيد إلى نيتروجين وبخار الماء. أما طريقة الخفض الانتقائي بدون عامل حفاز SNCR فتتم بدون عامل حفاز في الطور الغازي، وبدرجات حرارة عالية، إلا أن فعاليتها أدنى من طريقة الخفض الانتقائي بالعامل الحفاز.

تقنيات خفض انبعاث الجسيمات الدقيقة

يوجد عدة طرق لالتقاط الجسيمات الدقيقة الناتجة عن حرق الوقود في الأفران، أهمها اللواقط الميكانيكية، والمرشحات النسيجية، وكاشطات الغاز الرطب، والمرسبات الكهروستاتيكية.

تقنيات خفض انبعاثات وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع

تتركز تقنيات خفض انبعاثات وحدة التكسير بالعامل الحفاز في معالجة الانبعاثات الناتجة عن تنشيط العامل الحفاز، والتي تتكون بشكل رئيسي من أكاسيد الكربون، وأكاسيد الكبريت، وأكاسيد النيتروجين، والجسيمات الدقيقة.

[1] Selective Non-Catalytic Reduction
[2] Selective Catalytic Reduction

تعتمد كمية أكاسيد الكبريت المنطلقة من انبعاثات عمليات تنشيط العامل الحفاز في وحدة التكسير بالعامل الحفاز أيضاً على تركيز الكبريت في الفحم المترسب على سطح العامل الحفاز. وتتم العملية بحقن مواد كيماوية تقوم بتحويل المركبات الكبريتية في وعاء التنشيط إلى غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S، حيث يمكن معالجته مع الغازات المنتجة من الوحدة.

تتشكل أكاسيد النيتروجين في وعاء التنشيط عندما يتحد كل من النيتروجين وأكسجين الهواء عند درجات حرارة مرتفعة فتنتج أكاسيد النيتروجين الحرارية، وعندما يحترق النيتروجين العنصري Elemental Nitrogen الموجود في الفحم المترسب على سطح العامل الحفاز، حيث تكون كميته عادة أعلى من كمية أكاسيد النيتروجين الحرارية، وتعتمد على محتوى لقيم الوحدة من المركبات النيتروجينية.

تتكون الجسيمات الدقيقة الناتجة عن وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع من جسيمات أولية وأخرى ثانوية. تنتج الجسيمات الدقيقة الأولية من مصدرين، الأول من تنشيط العامل الحفاز، والثاني من السخام الناتج عن الاحتراق الناقص للفحم. أما الجسيمات الدقيقة الثانوية فتنتج من ذرات الأمونيا وأكاسيد الكبريت.

تقنيات خفض انبعاثات وحدات استرجاع الكبريت

يفصل غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S من غازات وحدات المعالجة الهيدروجينية ويتم تركيزه في وحدة الغسيل بمحلول الأمين، ثم يحول بعد ذلك إلى وحدة استرجاع الكبريت SRU[1] حيث يتم تحويله إلى كبريت حر. وتعتمد كمية انبعاثات SO_2 وH_2S من مدخنة فرن الإتلاف على مردود تفاعل كلاوس Claus ومدى ضبط شروط عمل الوحدة، لهذا يجب التركيز على تحسين مردود استرجاع الكبريت في الوحدة حتى يتم خفض كمية انبعاث SO_2، وذلك من خلال إضافة مفاعل ثالث إلى الوحدة، أو إضافة وحدة غسيل للغازات الفائضة عن التفاعل، الخارجة من

[1] Sulphur Recovery Unit

مفاعل كلاوس، أو استخدام عوامل حفازة متطورة يمكن بواسطتها تحسين كفاءة التفاعل.

تقنيات خفض انبعاثات شبكات خطوط الأنابيب والمعدات

تصنف تقنيات خفض الانبعاثات المتسربة من منظومة شبكات الأنابيب والمعدات في ثلاث مجموعات: الأولى تحسين جودة المعادن والمواد المصنوعة منها أجهزة منع التسرب، والثانية استخدام موانع مضاعفة، والثالثة تطبيق برنامج الكشف عن التسرب وإصلاحه. وهناك إجراءات مشتركة بين المجموعات الثلاث، مثل استخدام تصاميم أفضل لشبكات خطوط الأنابيب وموانع التسرب.

تقنيات خفض انبعاثات خزانات النفط الخام والمنتجات النفطية

من أهم تقنيات خفض انبعاثات خزانات النفط والمنتجات النفطية إجراء فحص فني دوري على كافة أجزاء وتوصيلات وفوهات القياس للتأكد من عدم وجود اهتراء يسبب تسرب الأبخرة إلى الهواء الجوي. ويمكن تركيب موانع تسرب مضاعفة على السقف العائم لخفض تسرب الهيدروكربونات من جدار الخزان أثناء حركة السقف الناتجة عن عمليات التفريغ والتعبئة. أو تركيب سقف ثابت إضافة إلى السقف المتحرك في خزانات السطح العائم لتخفيف التبخر بتأثير حركة تفريغ وتعبئة الخزان. كما يمكن تحويل الأبخرة الهيدروكربونية التي تنطلق من الجزء العلوي لخزانات النفط والمنتجات عبر أنابيب خاصة إلى وحدة استرجاع الأبخرة.

تقنيات خفض انبعاثات منظومة تحميل وتفريغ المنتجات

لخفض الانبعاثات المنطلقة من عمليات تحميل المنتجات البترولية وتعبئة الحاويات، يمكن تركيب توصيلات تعبئة الحاوية من الأسفل لمنع انتشار الأبخرة الهيدروكربونية في الطبقة العلوية للحاوية أو الناقلة، أو تركيب خط توازن بين الحاوية المراد تعبئتها والخزان الذي تسحب منه المواد البترولية للتعبئة، بهدف سحب الأبخرة إلى خزان تجميع مستقل لترحيلها إلى وحدة استرجاع الأبخرة الهيدروكربونية.

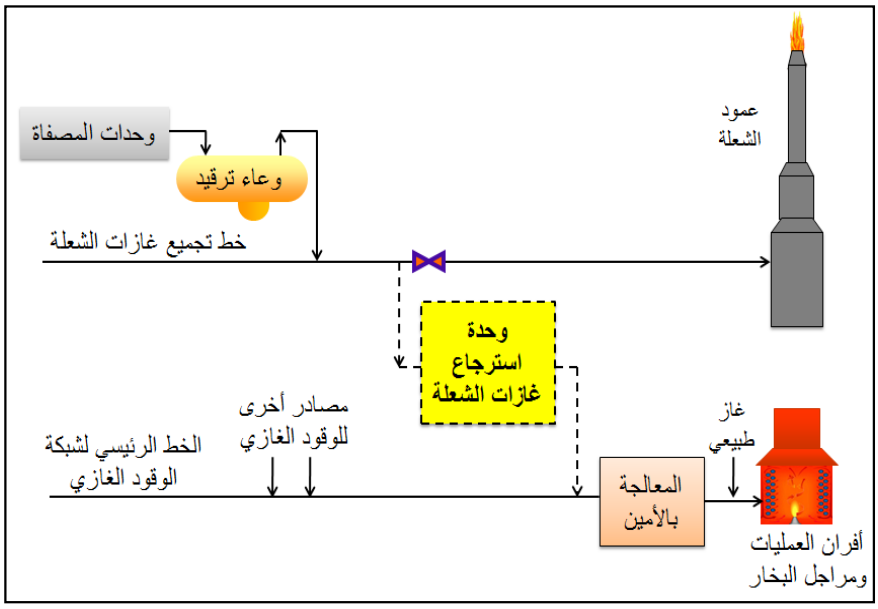
تقنيات خفض الانبعاثات الهيدروكربونية من وحدة معالجة المياه الملوثة

يمكن خفض انبعاث الأبخرة الهيدروكربونية من طبقة الزيت التي تطفو أعلى أحواض تجميع المياه الزيتية الواردة من الوحدات الانتاجية، ومن شبكة أنابيب تصفية خزانات النفط الخام والمشتقات، وذلك باتخاذ إجراءات التخفيف من المصدر لمنع ورود المركبات الهيدروكربونية إلى وحدة المعالجة أو استخدام أحواض فصل الزيت المغطاة Covered API Separator لعزل التأثيرات الجوية.

تقنيات خفض انبعاثات حرق الغازات في الشعلة

يمكن خفض الانبعاثات الناتجة عن حرق المركبات الهيدروكربونية على شعلات المصفاة بإجراء صيانة دورية لكافة صمامات الأمان المتصلة بخطوط الشعلة للتأكد من عدم وجود تسرب من سطوح إحكامها، أو تركيب منظومة استرجاع لغازات الشعلة تساعد على إعادة الغازات إلى شبكة وقود أفران المصفاة للاستفادة منها كمصدر للطاقة بدلاً من حرقها. يبين الشكل 4 مخطط وحدة استرجاع غازات الشعلة.

الشكل 4: مخطط وحدة استرجاع غازات الشعلة



إدارة الروائح المنبعثة من المصفاة

تشكل انبعاثات المركبات العضوية الطيارة مصدراً للروائح الكريهة عند ارتفاع تركيزها عن قيم محددة، وتؤدي إلى إزعاج العاملين في المصفاة والقاطنين في التجمعات السكنية المجاورة.

تتكون عملية معالجة مشكلة الروائح الكريهة المنبعثة من المصفاة من أربعة مراحل، تتضمن المرحلة الأولى تقويم المشكلة وإعداد المبررات والدوافع للقيام بإجراءات تساهم في التخفيف من آثارها. وفي المرحلة الثانية يتم تحديد المصادر المحتملة للمواد التي تسبب الروائح المزعجة. أما المرحلة الثالثة فيتم فيها تحليل المصادر المحتملة، وتحديد المصادر المؤكدة التي تسبب مشكلة انبعاث الروائح. وفي المرحلة الأخيرة يتم اختيار التقنيات المناسبة لخفض الانبعاثات المسببة للروائح إلى القيم التي تبدأ عندها اكتشاف الروائح. (IPIPEC, 2012)

عوامل اختيار التقنية الأنسب لخفض انبعاثات مصافي النفط

تعتبر عملية اختيار التقنية الأنسب لخفض انبعاثات كل مصدر من المصادر الموجودة في المصفاة من العمليات المعقدة، نظراً لوجود عوامل عديدة تؤثر في عملية الاختيار، منها ما يتعلق بطبيعة الموقع الذي ستركب فيه التجهيزات الجديدة، ومنها ما يتعلق بتكاليف الإنشاء والتنفيذ، أو درجة التعقيد التكنولوجي، ولتسهيل عملية الاختيار يجب البحث عن كافة الخيارات المتاحة لتقنيات خفض الانبعاثات من كل مصدر من المصادر القائمة في المصفاة، ثم تقييم مدى فعالية التقنيات المستخدمة واختيار أنسبها.

الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط

تتلخص أهداف الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط بما يلي:

- تحضير البيانات والمعلومات التي تمكن الهيئات الحكومية من إصدار التشريعات البيئية.

- العمل على تحقيق خفض فعلي للانبعاثات، يســـاهم في تحســـين جودة الهواء، والارتقاء بالأداء البيئي لمصافي النفط إلى أفضل المستويات الممكنة.

عناصر الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات المصافي

تتكون الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط من أربعة عناصر رئيسية، وهي:

- تقييم الوضع القائم للمصافي.
- تحضير خطة لمراقبة الانبعاثات، وإعداد التقارير الدورية.
- إعداد خطة مستقبلية لإجراءات الخفض المستمر لانبعاثات مصافي النفط.
- الإشراف الحكومي على عملية المراقبة المستمرة للانبعاثات.

يبين الشكل 5 عناصر الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط.

الشكل 5: عناصر الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط

عوامل نجاح خطة إدارة انبعاثات المصافي

يتطلب تطبيق خطة إدارة انبعاثات مصافي النفط تضافر جهود كافة الأطراف المعنية بعملية خفض الانبعاثات والمحافظة على سلامة البيئة من التلوث، والتزام إدارة المصفاة بمتابعة تنفيذ خطة خفض الانبعاثات، وتحديد سياسة واضحة لخفض الانبعاثات تتضمن إجراءات التحسين المستمر التي يجب تطبيقها على المعدات القائمة في المصفاة، وربط عملية إعداد الإجراءات والأهداف مع التخطيط المالي والاستثماري للشركة.

قائمة جرد انبعاثات المصافي

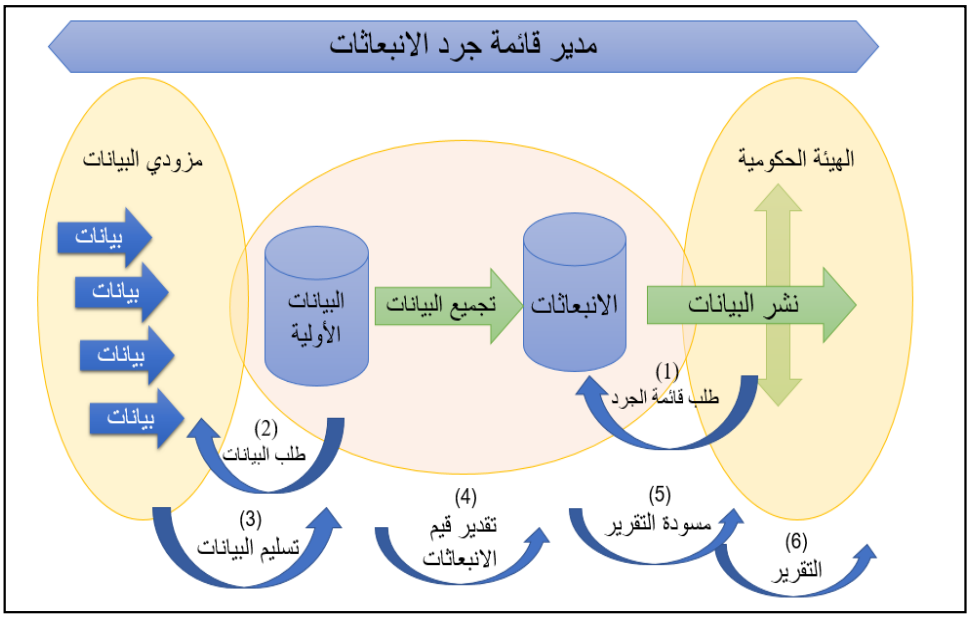
تساهم قائمة جرد الانبعاثات في تحديد نقاط الخلل والانحراف عن القيم النموذجية المتبعة في المصافي الأخرى الملتزمة بتطبيق المعايير العالمية، ودعم جهود اتخاذ القرار الأنسب حول الإجراءات والتقنيات اللازمة لخفض كمية الانبعاثات من المصادر المختلفة في المصفاة إلى أدنى المستويات الممكنة.

تتكون عملية إعداد قائمة جرد الانبعاثات من المراحل التالية:

- قيام الهيئة الوطنية بتحديد محتويات القائمة.
- قيام اللجنة المختصة بطلب البيانات الخاصة بقائمة جرد الانبعاثات من الجهات المعنية بتزويد البيانات.
- تجميع وتصنيف البيانات، حيث تقوم اللجنة المختصة بتصنيف البيانات الواردة، وحساب كمية الانبعاثات.
- تحضير مسودة تقرير أولي يتضمن بيانات قائمة جرد الانبعاثات، وتسليمها إلى الهيئة الوطنية.
- اعتماد التقرير من قبل الهيئة الوطنية لمراقبة الانبعاثات وتسليمه إلى الجهات المسؤولة عن شؤون حماية البيئة.

يبين الشكل 6 مراحل إعداد قائمة جرد انبعاثات مصافي النفط.

الشكل 6: مراحل إعداد قائمة جرد الانبعاثات



تحتاج عملية إعداد قائمة جرد الانبعاثات الكثير من الجهد والوقت، وإلى دقة القيم التي تتضمنها، حيث أن أي خطأ قد ينتج عنه خسائر كبيرة، وخصوصاً عندما تستخدم النتائج لاتخاذ قرارات تتعلق بمشاريع استثمارية باهظة التكاليف.

طرق قياس كمية الانبعاثات

توجد طرق عديدة لقياس كمية الانبعاثات، صممت من قبل جهات متخصصة بإصدار التشريعات البيئية، مثل وكالة حماية البيئة الأمريكية US-EPA، وهيئة حماية الهواء النظيف والماء في أوروبا CONCAWE[1]. منها ما يعتمد على العمليات الحسابية، أو متوسط معاملات الانبعاث[2]، ومنها ما يعتمد على استخدام أجهزة القياس

[1] Conservation of Clean Air and Water in Europe
[2] Average Emission Factors

المباشر. ويتوقف اختيار الطريقة الأنسب على الأهداف المنشودة من عملية الحساب، والوقت المتاح، ومدى توفر أجهزة القياس في الموقع.

حساب الانبعاثات المتسربة من عمليات التكرير

لتحديد الكمية الإجمالية للانبعاثات التي تتسرب من معدات المصفاة يجب إجراء إحصاء فعلي لكافة المعدات التي يحتمل أن تنبعث منها الملوثات الغازية في كل وحدة من وحدات المصفاة، كالمضخات، والضواغط، إضافة إلى المعدات الاحتياطية الموضوعة تحت الضغط، وصمامات الأمان، وغيرها.

حساب انبعاثات خزانات النفط الخام والمنتجات

تحسب كمية المركبات العضوية الطيارة المنطلقة من خزانات النفط الخام والمنتجات التي تحتوي على مواد خفيفة مثل الغازولين ووقود الطائرات النفاثة والمقطرات الوسطى، باستخدام برامج حاسوبية جاهزة، تدخل فيها عدة عوامل كقطر الخزان، والظروف البيئية المحيطة، وخصائص المادة المخزنة، ودرجة حرارتها.

حساب انبعاثات محطات تحميل النفط الخام والمنتجات

تحسب كمية انبعاثات محطات تحميل المنتجات بالقطارات والشاحنات بطريقة معاملات الانبعاث، أوطريقة اختبار المصدر Source Test.

حساب انبعاثات وحدات معالجة المياه الملوثة

توجد طرق عديدة لحساب انبعاثات وحدات معالجة المياه الملوثة، أهمها طريقة البرامج الحاسوبية الجاهزة، أو طريقة الحساب اليدوي، أو طريقة اختبار المصدر، التي تعتمد على أخذ عينات من الهواء في كافة نقاط تجميع المياه الملوثة التي تطلق المركبات العضوية الطيارة وتحليلها في المخابر لتحديد تركيز الانبعاثات. أو طريقة الموازنة المادية، التي تعتمد على حساب كمية المركبات الغازية التي تبخرت من خطوط ومعدات وحدة معالجة المياه الملوثة، من خلال حساب الفرق بين تركيز المواد

البترولية السائلة في كل من المياه الملوثة الداخلة والخارجة من الوحدة. وأخيراً طريقة معاملات الانبعاث للخطوط القادمة من عمليات التكرير، والصمامات والتوصيلات المركبة عليها.

حساب انبعاثات أبراج مياه التبريد

تحسب كمية المركبات العضوية الطيارة التي تنبعث من أبراج مياه التبريد إلى الهواء بطريقة معاملات الانبعاث، أو حساب الفرق بين تركيز الهيدروكربونات في المياه الداخلة والخارجة من الأبراج، وتحويل القيمة إلى كتلة وزنية/الساعة.

حساب انبعاثات الحوادث الطارئة

تعتمد كمية الانبعاثات الناتجة عن الحوادث الطارئة على نوع الحادثة، ولا تصنف الحادثة في سجل الحوادث الطارئة إلا إذا تجاوز الحد الأدنى لكمية المواد الزيتية المتسربة إلى المياه السطحية أو المجمعات المائية عن 10 لتر، أو حوادث الانسكاب والتسرب إلى السطوح الأرضية، والتي تزيد كميتها عن 200 لتر، أو حوادث طرح الهيدروكربونات إلى الهواء بكميات تزيد عن 100 لتر.

حساب انبعاثات حرق الوقود في الأفران

من أفضل الطرق المتبعة لحساب كمية انبعاثات COx، و SOx، و NOx الناتجة عن حرق الوقود في الأفران هي الطريقة التي تعتمد على أجهزة التحليل التي تركب على المدخنة، وتعمل إما بشكل مستمر أو متقطع، وهي أكثر دقة من طريقة الحساب اعتماداً على معاملات الانبعاث.

حساب انبعاثات منظومة الشعلة

تعتمد معظم المصافي على طريقة معاملات الانبعاث في حساب كمية انبعاثات منظومة الشعلة. وتعتمد دقة نتائج الحساب باستخدام المعادلة المبينة أعلاه على مدى الدقة في قياس كمية ونوعية كل من الغازات الداخلة إلى الشعلة وإلى شمعات

الاحتراق الدائمة التي تستخدم للمحافظة على استمرار لهب الشعلة.

تشريعات ضبط انبعاثات مصافي النفط

انطلقت عملية ضبط انبعاثات مصافي النفط في العالم في مطلع سبعينيات القرن الماضي، وذلك استجابة لتنامي المطالبات الشعبية بضرورة وضع حد لتفاقم مشكلة تلوث الهواء الجوي.

مراحل عملية إصدار تشريعات ضبط الانبعاثات

تتم عملية إصدار تشريعات ضبط الانبعاثات من مصافي النفط على ثلاث مراحل، تبدأ بتحديد أفضل الطرق الممكنة لخفض الانبعاثات، ثم مرحلة النشر والإبلاغ عن التشريعات المحتملة إلى الجمهور لإبداء الرأي. بعد ذلك يطلب من المصافي إعداد الخطط والإجراءات اللازمة لتلبية متطلبات التشريعات.

تقوم هيئات حماية البيئة بتحديد أفضل الطرق التي يمكن من خلالها خفض الانبعاثات التي تطلقها المصافي إلى أدنى قيمة ممكنة ليصار إلى اعتمادها كمعيار لقياس أداء المصافي. كما يؤخذ بعين الاعتبار أثناء تحديد معايير الأداء التكاليف المحتملة لإجراءات خفض الانبعاثات، وانعكاسات تطبيقها على قضايا الصحة والسلامة والبيئة.

تشريعات منح ترخيص إنشاء مصفاة جديدة

عند منح ترخيص إنشاء مصفاة نفط جديدة يجب أن تتعهد الشركة المالكة بأن لا تؤدي عمليات التكرير إلى تغيير في جودة الهواء الجوي في المناطق المجاورة لموقع المصفاة، وذلك من خلال الالتزام بالمعايير التي يحددها القانون لكل منطقة، أو ما يسمى ببرنامج مراجعة المصادر الجديدة.

قائمة المصطلحات Abbreviations

- **الأزمرة Isomerization**: تحسين الرقم الأوكتاني للقطفات الخفيفة كالنافثا والبيوتان لإنتاج مكونات للمزج مع منتج الغازولين.
- **استرجاع الكبريت Sulphur Recovery**: عملية تحويل الغازات الكبريتية الناتجة عن المعالجة الهيدروجينية للمنتجات النفطية إلى كبريت حر، وإلى وقود غازي Fuel Gas.
- **الألكلة Alkylation**: إنتاج مكونات عالية الرقم الأوكتاني للمزج مع منتج الغازولين.
- **الانبعاثات المتناثرة Fugitive Emissions**: مركبات عضوية تتسرب من المعدات على شكل غيوم في الهواء الجوي.
- **التفحيم المؤجل Delayed Coking**: عملية تكسير حراري لتحويل مخلفات التقطير الفراغي الثقيلة إلى مكونات خفيفة كالنافثا وزيت الغاز، وإلى فحم بترولي Coke.
- **التقطير الجوي Atmospheric Distillation**: عملية فصل النفط الخام فيزيائياً إلى قطفات بترولية أولية، وهي غاز البترول المسال، ونافثا، وكيروسين وزيت غاز وزيت وقود.
- **التقطير الفراغي Vacuum Distillation**: فصل مخلفات التقطير الجوي إلى زيت غاز فراغي يستخدم لقيم لوحدات إنتاج زيوت الأساس المستخدمة في تحضير زيوت التزييت، كما ينتج عن العملية أسفلت ولقائم للوحدات التحويلية، كالتفحيم وكسر اللزوجة.
- **التهذيب بالعامل الحفاز Catalytic Reforming**: رفع الرقم الأوكتاني للنافثا لإنتاج الغازولين.
- **التكسير الحراري Thermal Cracking**: تحويل القطفات الثقيلة إلى خفيفة من خلال تكسير الجزيئات الكبيرة إلى صغيرة وتقصير السلاسل الهيدروكربونية الطويلة، بالتسخين لرفع نسبة إنتاج المصفاة من المنتجات الثمينة.
- **التكسير بالعامل الحفاز Catalytic Cracking**: تحويل القطفات الثقيلة إلى خفيفة من خلال تقصير السلاسل الهيدروكربونية الطويلة بوجود عامل حفاز.
- **التكسير بالعامل الحفاز المائع Fluidized Catalytic Cracking FCC**: تحويل القطفات الثقيلة إلى خفيفة من خلال تقصير السلاسل الهيدروكربونية الطويلة بوجود عامل حفاز على شكل مائع.

يتبع: قائمة المصطلحات Abbreviations

- **التكســـير الهيدروجيني Catalytic Hydrocracking**: تحويل القطفات الثقيلة إلى خفيفة من خلال تكســـير الجزيئات الكبيرة إلى صـــغيرة بوجود الهيدروجين في مفاعل يحتوي على عامل حفاز.
- **الجسيمات الدقيقة Particulate Matters PM**: مواد صلبة أو سائلة تتناثر في الهواء الجوي على شكل حبيبات صغيرة الحجم وتعتبر من الملوثات الخطرة على صحة الإنسان.
- **ميثيـل ثلاثي بيوتيـل إيثير Methyl Tertiary Butyl Ether MTBE**: مركـب أوكسجيني يمزج مع الغازولين لرفع الرقم الأوكتاني.
- **منطقة محصـــنة أو غير محصـــنة Attainment/Non-attainment**: تعتبر المنطقة محصـنة عندما يكون تركيز الملوثات في الهواء الجوي أدنى من القيم المحددة في المعايير البيئية. والعكس بالنسبة للمناطق غير المحصنة.
- **المعالجة الهيدروجينية/ نزع الكبريت بالهدرجة Hydrodesulphurization**: عملية نزع المركبات الكبريتية من القطفات النفطية في مفاعل يحتوي عامل حفاز بوجود الهيدروجين.
- **المركبات العضوية الطيارة Volatile Organic Compounds VOC**
- **معاملات الانبعاث Emission Factors**: متوسط قيم الانبعاثات التي تنطلق من مصدر معين تبعاً لأحد ظروف التشغيل كالطاقة التكريرية أو معدل حرق الوقود.
- **الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات Poly Aromatic Hydrocarbons PAH**
- **ب/ي: "برميل في اليوم"** وحدة قياس الطاقة التكريرية **Barrel Per Day**
- **ج.ف.م:"جزء في المليون"** قياس الشوائب في النفط والمشتقات **Part Per Million**

الفصل الأول

أنواع ومصادر انبعاثات مصافي النفط

1-1: تصنيف انبعاثات مصافي النفط

2-1: مصادر انبعاثات مصافي النفط

1-2-1: حرق الوقود
2-2-1: عمليات التكرير
3-2-1: عمليات استرجاع الكبريت
4-2-1: منظومة تخزين وتحميل وتفريغ النفط الخام والمنتجات النفطية
5-2-1: وحدة معالجة المياه الملوثة
6-2-1: منظومة تصريف الغازات والسوائل الخطرة
7-2-1: منظومة أبراج مياه التبريد

3-1: العوامل المؤثرة في كمية انبعاثات مصافي النفط

1-3-1: نوع النفط الخام المكرر
2-3-1: نوع عمليات التكرير في المصفاة
3-3-1: جودة مواصفات منتجات المصفاة
4-3-1: نوع الوقود المستخدم
5-3-1: حجم الطاقة التكريرية
6-3-1: توفر نظم القياس ومراقبة كمية انبعاثات المصفاة

4-1: انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط

1-4-1: انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط على صحة الإنسان
2-4-1: انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط على البيئة
3-4-1: انعكاسات خفض الانبعاثات على ربحية صناعة التكرير

الفصل الأول

أنواع ومصادر انبعاثات مصافي النفط

مقـدمة

تســتهلك مصــافي النفط كمية كبيرة من الوقود في عمليات التكرير، ومحطات إنتاج بخار الماء وتوليد الطاقة الكهربائية. وينتج عن حرق الوقود انبعاثات غازية لها أضرار خطيرة على صحة الإنسان وسلامة البيئة.

يتناول هذا الفصــل أنواع الانبعاثات الهوائية، والمصــادر التي تنطلق منها في مصافي النفط.

1-1: تصنيف انبعاثات مصافي النفط

تختلف الانبعاثات التي تطرحها مصــافي النفط من حيث نوعها وكميتها ودرجة تأثيرها على صــحة الإنســان والبيئة، وذلك تبعاً لنوع عمليات التكرير، وحجم الطاقة التكريرية للمصفاة، ونوع النفط الخام المكرر.

تصنف انبعاثات مصافي النفط تبعاً لمصدرها في مجموعتين رئيسيتين، الأولى مجموعة الانبعاثات الهيدروكربونية، وهي المركبات العضــوية التي تنتج عن تســرب المواد الهيدروكربونية من الأوعية، وخطوط الأنابيب، والخزانات. أما المجموعة الثانية فتتكون من نواتج حرق الوقود في أفران عمليات التكرير، ومحطات توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء ، مثل أكاســيد الكبريت SOx، وأكاســيد النيتروجين NOx وغاز ثاني أكسيد الكربون CO_2. (IPIECA, 2012)

كما تصــنف انبعاثات مصــافي النفط، في قانون الهواء النظيف الذي صــدر في الولايات المتحدة إلى المجموعات الرئيسية التالية: (Bp, 2015)

- أكاسيد الكربون Carbon Oxides
- أكاسيد الكبريت Sulfur Oxides
- كبريتيد الهيدروجين Hydrogen Sulphide
- أكاسيد النيتروجين Nitrogen Oxides
- المركبات العضوية الطيارة Volatile Organic Compounds (VOC)
- الجسيمات الدقيقة Particulates Matter (PM)

تشير نتائج دراسة أصدرتها وكالة حماية البيئة الأمريكية إلى أن مصافي النفط تطلق العديد من الملوثات الخطرة، صنفت منها 187 مادة على أنها ضارة بصحة الإنسان، بعضها شديد الخطورة قد يسبب حدوث تشوه المواليد، وأمراض الجهاز التنفسي، والسرطان. من هذه المواد على سبيل المثال البنزين العطري Benzene، والتولوين Toluene، والمعادن كالكادميوم والزئبق والكروم ومركبات الرصاص. (Thomas, A., & Brian, B., 2015)

يبين الجدول 1-1 أهم الانبعاثات الناتجة عن مصافي النفط، ومصادرها.

- **أكاسيد الكربون COx**

تتكون أكاسيد الكربون من غاز أول أكسيد الكربون CO وثاني أكسيد الكربون CO_2. يعتبر غاز ثاني أكسيد الكربون من المركبات الضرورية للحياة البيولوجية، وعند المستويات الطبيعية ليس له آثار سلبية، إلا أنه قد يؤدي إلى حدوث أضرار على صحة الإنسان أو البيئة عندما تتجاوز نسبته في الهواء الجوي الحدود الطبيعية.

الجدول 1-1: أهم الانبعاثات الناتجة عن صناعة تكرير النفط ومصادرها

الانبعاثات	المصدر
COx	• أفران عمليات التكرير • محطات إنتاج البخار وتوليد الطاقة الكهربائية • تنشيط العامل الحفاز في وحدات FCC • منظومة الشعلة
SOx	• أفران عمليات التكرير • محطات إنتاج البخار وتوليد الطاقة الكهربائية • تنشيط العامل الحفاز في وحدات FCC • منظومة الشعلة • وحدة استرجاع الكبريت
NOx	• أفران عمليات التكرير • محطات إنتاج البخار وتوليد الطاقة الكهربائية • تنشيط العامل الحفاز في وحدات FCC • منظومة الشعلة
المركبات العضوية الطيارة VOC	• تخزين ونقل وتحميل النفط الخام والمشتقات النفطية • وحدات معالجة المياه الملوثة • تنفيس الأوعية لتخفيض ضغطها • تسرب الهيدروكربونات من المعدات
الجزيئات الصلبة PM، والمعادن	• أفران عمليات التكرير • محطات إنتاج البخار وتوليد الطاقة الكهربائية • تنشيط العامل الحفاز في وحدات FCC • حرق الغازات في منظومة الشعلة

المصدر: Thomas, A., & Brian, B., 2015

ينبعث غاز ثاني أكسيد الكربون في مصافي النفط بشكل رئيسي من أفران عمليات التكرير، ومحطات توليد بخار الماء والطاقة الكهربائية، وعمليات حرق الكربون أثناء تنشيط العامل الحفاز في وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC، وحرق الغازات الفائضة في منظومة الشعلة.

كما تطلق مصـــافي النفط أول أكســيد الكربون CO من حرق الوقود في أفران عمليات التكرير، وحرق الغازات الفائضـــة في الشـــعلة. وتعتمد كمية غاز أول أكســيد الكربون المتشكل على نوع الوقود المستخدم في الأفران، وجودة الحراقات المستخدمة ومدى قدرتها على ضـبط نسـبة الأوكسـجين الداخل إلى الحراق بالقيمة التي تضـمن ضـبط تفاعل حرق الكربون لتحويل أول أكسـيد الكربون إلى ثاني أكسـيد الكربون. (Bp, 2015)

- **أكاسيد الكبريت SOx**

تنطلق أكاســيد الكبريت نتيجة احتراق المركبات الكبريتية الموجودة في الوقود المســـتخدم في أفران المصـــفاة، ومحطات إنتاج بخار الماء وتوليد الطاقة الكهربائية، ومن حرق الغازات الفائضـــة في الشـــعلة، ومصـــادر أخرى متنوعة. كما تعتمد كمية أكاسـيد الكبريت التي تطرحها المصـفاة على نسـبة الكبريت في النفط الخام المكرر، ونوع الوقود المستخدم في الأفران ومحتواه من الكبريت.

تعتبر انبعاثات أكاسيد الكبريت من الغازات الضارة بصحة الإنسان والبيئة، وذلك عندما تتفاعل مع رطوبة الجو لتشكل ذرات حمض الكبريت، أو ما يسمى بالمطر الحمضي، الذي يسبب تلف المزروعات، وتآكل الهياكل والمنشآت المعدنية. (Ramboll, 2014)

في عام 2008 أشـــرفت وزارة الصـــحة الكندية على دراســـة قام بإنجازها مجموعة من مراكز الأبحاث والجامعات الأمريكية والكندية، تهدف إلى بحث أثر انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 على صحة الأشخاص في التجمعات السكنية المجاورة لمصافي النفط ضمن دائرة يتراوح قطرها بين 0.5 إلى 7.5 كم. وقد أظهرت نتائج الدراسة وجود علاقة طردية بين ارتفاع تركيز غاز ثاني أكسيد الكبريت في الهواء الجوي وعدد حالات الإصابة بنوبات الربو، وخصوصاً عند الأطفال الذين تتراوح أعمارهم بين سنتين وأربع سنوات. ووصلت حالات مراجعة المستشفيات

إلى حدها الأقصى في اليوم الذي وصل فيه تركيز ثاني أكسيد الكبريت إلى المستوى الأقصى خلال فترة الدراسة، بمقدار 31.2 جزء في المليار ppb.

(Smargiassi, A., et al., 2009)

- **أكاسيد النيتروجين NOx**

تتكون أكاسيد النيتروجين من أول أكسيد النيتروجين NO، وثاني أكسيد النيتروجين NO_2، وأكسيد النيتروس N_2O. تختلف كمية أكاسيد النيتروجين المنبعثة من المصفاة باختلاف نوع الوقود المستخدم ومحتواه من المركبات النيتروجينية والهيدروجين، فكلما زادت نسبة الهيدروجين في الوقود ارتفعت درجة حرارة اللهب، وبالتالي تزداد كمية NOx المنبعثة. وقد تحتوي غازات المصفاة على مركبات أمينية ناتجة عن عمليات الغسيل بمحلول الأمين لنزع الكبريت منها، كما أن نسبة احتواء الوقود السائل على النيتروجين تزداد بارتفاع وزنه النوعي، حيث تصل إلى حدها الأقصى في الوقود الصلب كالفحم. ويمكن أن تختلف كمية انبعاثات أكاسيد النيتروجين من مصدر لآخر ضمن المصفاة نفسها، وذلك تبعاً لتصميم معدات حرق الوقود في الأفران وظروف تشغيلها، كدرجة حرارة اللهب وزمن بقاء الوقود في الفرن، وتركيز الأوكسجين في غازات المدخنة.

كما تتشكل أنواع أخرى من أكاسيد النيتروجين تسمى أكاسيد النيتروجين الحرارية، وهي التي تنتج عن اتحاد النيتروجين والأوكسجين في درجات حرارة مرتفعة. (Sloss, L., 2011)

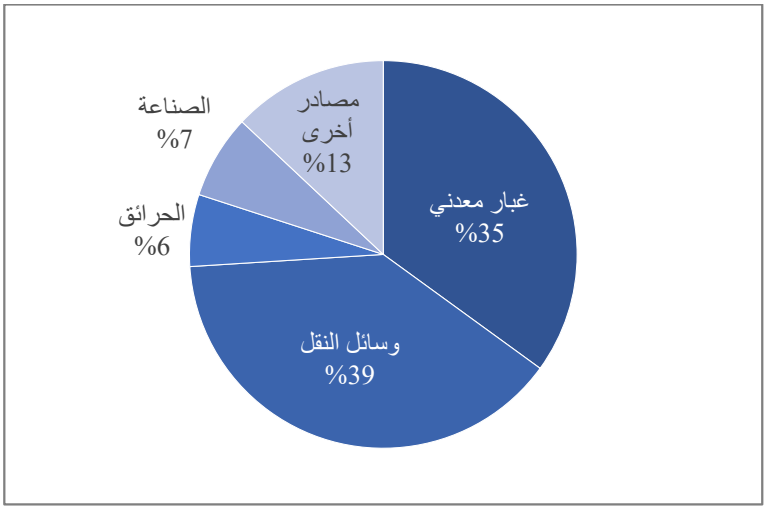
كما أن ارتفاع تركيز أكاسيد النيتروجين في الهواء يعتبر أحد الأسباب المؤدية إلى تحفيز التفاعلات التي ينتج عنها تشكيل الأوزون، والمطر الحمضي، والدخان الضبابي Smog. (UNEP, 2014)

- **الجسيمات الدقيقة**

تتشكل الجسيمات الدقيقة Particulate Matter (PM) في المصفاة إما نتيجة حرق الوقود في أفران العمليات، ومراجل إنتاج البخار، ومحطات توليد الطاقة الكهربائية، أو من عمليات خاصة تجري في الوحدات الإنتاجية، مثل عمليات حرق الكربون المترسب على سطح العامل الحفاز في وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع، وعمليات إزالة الفحم المترسب على السطوح الداخلية لأنابيب أفران بالبخار والماء Steam Air Decoking في وحدات التفحيم.

تتواجد الجسيمات الدقيقة على شكل ذرات صلبة أو سائلة، متناثرة في الهواء الجوي، وهي قابلة للاستنشاق، وذلك نظراً لصغر حجمها وسهولة دخولها إلى الأنف والفم. وتصنف في عدة مجموعات حسب أبعادها، منها مجموعة الجسيمات التي قطرها أصغر أو يساوي 10 ميكرون PM_{10}، ومجموعة الجسيمات الدقيقة التي قطرها أصغر أو يساوي 2.5 ميكرون $PM_{2.5}$. تعتبر الجسيمات الدقيقة ثاني أكبر مصادر التلوث الهوائي من حيث الخطورة على صحة الإنسان. كما تعتبر وسائل النقل أحد أكبر مصادر الجسيمات الدقيقة في الهواء الجوي، حيث تشكل 39% من إجمالي الجسيمات الناتجة عن الأنشطة الأخرى بينما لا تشكل الصناعة سوى 7% من إجمالي الجسيمات الدقيقة المنبعثة إلى الهواء الجوي. يبين الشكل 1-1 توزع نسب مصادر الجسيمات الدقيقة في الهواء الجوي. (Akumu, J., 2015)

الشكل 1-1: توزع نسب مصادر الجسيمات الدقيقة في الهواء الجوي



المصدر: AFDB, 2015

تختلف كمية انبعاثات الجسيمات الدقيقة تبعاً لنوع الوقود المستخدم في الأفران والمراجل البخارية، وعلى تصميم الأفران، ومستوى التطور التقني للحراقات ومعدات حرق الوقود، وتركيز الأوكسجين عند مخرج غرفة الاحتراق Combustion Chamber، ودرجة حرارة غازات الاحتراق عند مخرج غرفة الإشعاع Radiation Chamber، وزمن بقاء ذرات الوقود في غرفة احتراق الوقود في الفرن.

تتشكل الجسيمات الدقيقة المنطلقة من مداخن الأفران على أربعة أشكال، على النحو التالي: (Bhatia, A., 2012)

- السناج Soot، يظهر على شكل دخان أسود ينطلق من المدخنة وتبلغ أبعاد جسيماته من 0.5 إلى 5 ميكرون.
- جسيمات الوقود غير المحترقة، وهي جزيئات موجودة أصلاً في أنواع الوقود العالية الكثافة كزيت الوقود الثقيل، وتنطلق من مدخنة الفرن عند حرق الوقود في درجة حرارة أدنى من 700 °م.

- الجسيمات الفحمية، تتشكل نتيجة تفاعلات تكسير الوقود السائل أثناء الحرق في درجة حرارة أعلى من 700 °م، ويتراوح حجمها بين 1 إلى 10 ميكرون.
- جسيمات دقيقة، حجمها أقل من 0.01 ميكرون، تهمل عادة لقلة كميتها وصغر حجمها.

بشكل عام تعتبر الجسيمات الدقيقة المنبعثة من الأفران قليلة نسبياً، حيث يتراوح تركيزها في غازات مداخن الأفران القديمة من 500-1000 مليغرام/م^3 قياسي، أما في الأفران الحديثة المزودة بحراقات ذات تصميم متطور فتنخفض إلى 200 مليغرام/م^3 قياسي، وتزيد قليلاً في غازات مداخن المراجل البخارية.

- **المركبات العضوية الطيارة**

تتكون المركبات العضوية الطيارة VOC من مجموعة مواد هيدروكربونية غازية تحتوي على ذرات الكربون، أهمها: (IFC, 2013)

- ✓ الهيدروجين
- ✓ الميثان
- ✓ مركبات عضوية خفيفة، مثل الإثيلين، والبروبان، والبروبيلين، والبيوتين والبيوتيلين، والبنتان، والألكيلات، والبنزين والتولوين، والزايلين، والفينول، والعطريات التي تحتوي على تسع ذرات كربون.
- ✓ هيدروكربونات عطرية متعددة الحلقات PAH[1].
- ✓ غازات غير عضوية، مثل حمض فلور الماء، والأمونيا، وكبريتيد الهيدروجين H_2S، ....

تنبعث المركبات العضوية الطيارة على شكل غيوم هيدروكربونية متناثرة في الجو Fugitive Emissions، إما نتيجة تسرب المواد الهيدروكربونية من توصيلات

[1] Poly Aromatic Hydrocarbons

الأنابيب والصمامات، ومحاور المضخات والضواغط، أو من أحواض فصل الزيت ومعدات وحدات معالجة المياه الملوثة، ومن خزانات النفط الخام والمنتجات النفطية، وعمليات تفريغ وتعبئة حاويات النفط الخام والمشتقات النفطية. تمثل الانبعاثات المتسربة الناتجة عن تسرب المواد البترولية من المعدات في الوحدات الإنتاجية نسبة حوالي 40-50% من إجمالي كمية انبعاثات المركبات العضوية الطيارة في المصفاة، أما الانبعاثات الناتجة عن عمليات تعبئة وتفريغ حاويات النفط والمشتقات النفطية فتشكل 30-40%، كما تشكل الانبعاثات الناتجة عن وحدة معالجة المياه الملوثة حوالي 10-15%، والانبعاثات الناتجة عن خزانات النفط والمشتقات النفطية تشكل أيضاً نسبة 10-15%. يبين الجدول 1-2 توزع نسب مصادر انبعاثات المركبات العضوية الطيارة في مصافي النفط.

الجدول 1-2: توزع نسب مصادر انبعاثات المركبات العضوية الطيارة في مصافي النفط

المصدر	النسبة المئوية
تسرب المعدات	50 - 40
محطات تحميل وتفريغ المنتجات النفطية	40 - 30
خزانات النفط الخام والمنتجات النفطية	15 - 10
وحدات معالجة المياه الملوثة	15 - 10
مصادر أخرى	10 - 5

المصدر: IPIECA, 2012

تعتمد كمية المركبات العضوية الطيارة المنبعثة من الأوعية والصمامات ووصلات الربط بين الأنابيب والأوعية على عدة عوامل، أهمها: حجم المعدات، ونوعها، وعمرها، ومدى جودة مواد موانع التسرب المستخدمة، وحالة عمليات الصيانة الدورية والوقائية المطبقة عليها.

أظهرت بعض الدراسات أن المركبات العضوية الطيارة تشكل خطراً كبيراً على صحة الإنسان، لتأثيرها السام والمسرطن، كما أنها عندما تتحد مع أكاسيد النيتروجين تساهم في تشكيل غاز الأوزون بتأثير أشعة الشمس، إضافة إلى دورها في تشكيل الدخان الضبابي في أيام الصيف الحارة. (UNECE, 2012)

- **كبريتيد الهيدروجين**

يعتبر غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S من الغازات الخطرة نظراً لتأثيره الضار على صحة الإنسان.

يأتي غاز كبريتيد الهيدروجين إلى المصفاة من النفط الخام، ويتم نزعه من المنتجات في عمليات التكرير لضمان عدم وجوده في المنتجات النهائية أو انبعاثه إلى الهواء الجوي.

يتم تحويل غاز كبريتيد الهيدروجين المنزوع من المنتجات البترولية إلى كبريت حر في وحدة استرجاع الكبريت[1].

2-1: مصادر الانبعاثات الهوائية في مصافي النفط

تتكون مصافي النفط من مجموعة من العمليات المعقدة التي تهدف إلى تحويل النفط الخام إلى مشتقات قابلة للاستهلاك. وتصنف مصادر الانبعاثات الهوائية في مصافي النفط ضمن مجموعات رئيسية على النحو التالي: (BP, 2015)

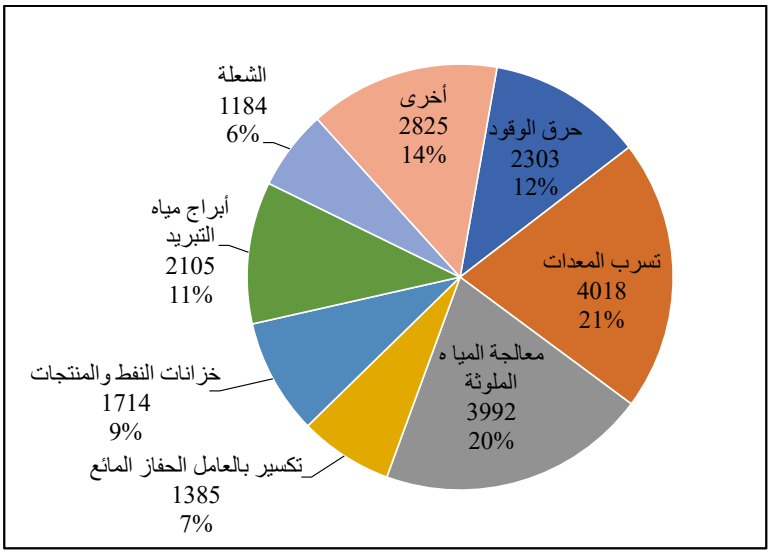
- حرق الوقود في أفران عمليات التكرير ومحطات توليد بخار الماء والطاقة الكهربائية
- عمليات التكرير
- وحدة معالجة المياه الملوثة
- خزانات النفط الخام والمنتجات
- الشعلة

[1] Sulphur Recovery Unit

- محطات تحميل وتفريغ المنتجات النفطية
- أبراج مياه التبريد

تختلف مصادر الانبعاثات في مصافي النفط من حيث كمية ونوع الملوثات التي تطلقها إلى الهواء الجوي. يبين الشكل 1-2 مصادر وكمية انبعاثات مصافي النفط الأمريكية عام 2010

الشكل 1-2: مصادر وكمية انبعاثات مصافي النفط الأمريكية 2010
(طن/السنة)



المصدر: US-EPA, 2013

1-2-1: حرق الوقود

تستهلك مصافاة النفط كميات كبيرة من الوقود في أفران عمليات التكرير، وتشغيل محطات توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء.

تشكل الانبعاثات الناتجة عن حرق الوقود في أفران عمليات التكرير ومحطات توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء الجزء الأكبر من كمية انبعاثات المصافاة، وهي أكاسيد الكربون، وأكاسيد النيتروجين، وأكاسيد الكبريت، والجسيمات الدقيقة، إضافة إلى الهيدروكربونات غير المحترقة.

1-2-2: عمليات التكرير

تشـتمل عمليات التكرير على وحدات تطلق بعض الانبعاثات الملوثة للبيئة مثل عمليات تنشـيط العامل الحفاز Catalyst Regeneration. وقد تتم هذه العمليات بشكل مستمر كعمليات التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC[1]، حيث يتم تنشيط العامل الحفاز بحرق الكربون المترسب على سطحه بشكل مستمر، وفي وحدة تهذيب النافثا بالعامل الحفاز بطريقة التنشيط المستمر CCR[2]. وقد تتم عملية تنشيط العامل الحفاز بشـكل متقطع على فترات زمنية تتراوح من بضـعة أشـهر وحتى عدة سـنوات، مثل عمليات التكسير الهيدروجيني، أو المعالجة الهيدروجينية، أو الأزمرة.

قد تصـدر بعض الانبعاثات الملوثة للبيئة من أجهزة التحكم بالانبعاثات في أوعية ومعدات عمليات التكرير. فعلى سـبيل المثال تنبعث الأمونيا إلى الهواء الجوي من أجهزة التقاط الجسيمات الدقيقة الخارجة من أوعية تنشيط العامل الحفاز في وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC، حيث تضـاف الأمونيا لخفض انبعاثات أكاسـيد النيتروجين إلى الهواء الجوي، علاوة على فائدة تحسـين كفاءة ترسـيب الجسـيمات الدقيقة في الأجهزة. (Stevenson, E., 2015)

1-2-3: عملية استرجاع الكبريت Sulfur Recovery Process

تجري عملية نزع غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S من المزيج الغازي المتشـكل في عمليات المعالجة الهيدروجينية للمنتجات البترولية لتخليصـها من الكبريت والشوائب الأخرى، بواسطة الامتصاص بمحلول الأمين، كأحادي إيثانول أمين MEA أو ثنائي إيثانول أمين DEA[3]، ثم ينشـط المحلول المشـبع بالتسـخين لينزع منه غاز كبريتيد الهيدروجين على شـكل غاز حمضـي مركز Acid Gas. بعد ذلك يتم تحويل هذا الغاز إلى كبريت حر Elemental sulfur وماء، في مفاعل كلاوس.

[1] Fluidized Catalytic Cracking
[2] Continuous Catalytic Reforming
[3] Mono Ethanol Amine & Di Ethanol Amine

تتكون انبعاثات وحدة اسـترجاع الكبريت من الغازات الناتجة عن حرق الوقود في الفرن، ومن عمليات حرق الكربون المترسب على سطح العامل الحفاز أثناء عملية التنشيط، وهي أكاسيد الكربون، وأكاسيد النيتروجين، وأكاسيد الكبريت، والجسيمات الدقيقة، إضـافة إلى مركبات عضـوية طيارة، ومركبات كبريتية تنطلق من مدخنة تصـريف الغازات الفائضـة عن التفاعل Tail Gas، وانبعاثات متسـربة ناتجة عن تسرب المواد الهيدروكربونية من الصمامات والتوصيلات والمضخات والضواغط. (Randall, D., & Coburn, J., 2010)

4-2-1: منظومة تخزين وتحميل وتفريغ النفط الخام والمنتجات النفطية

تعتبر خزانات النفط والمنتجات النفطية المنتشـرة في المصـفاة من المصـادر المهمة للانبعاثات الغازية، التي تنتج في الحالات التالية:

- التبخر العادي بتأثير العوامل الجوية من الحواف الفاصلة بين جدار الخزان والسطح العائم.
- عمليات التفريغ والتعبئة من وإلى الخزان، فعند سـحب المادة من الخزان تتكون الأبخرة في الفراغ الفاصل بين طبقة السائل وسطح الخزان، وأثناء إعادة التعبئة تزاح طبقة الأبخرة إلى الجو لتحل محلها طبقة السائل.
- أثناء عملية تصفية الماء من الخزان.
- التسرب من سطح إحكام صمام الأمان أو صمامه الجانبي By-pass في الخزانات المضغوطة.

كما تنبعث المركبات العضـوية الطيارة من عمليات تفريغ وتحميل حاويات النفط الخام والمشـتقات النفطية. وتعتمد كمية الأبخرة المنبعثة على طريقة تعبئة الحاوية، فإذا كانت من الأعلى تكون الكمية كبيرة نظراً لارتطام المواد البترولية بقاع الحاوية وانتشـارها في الفراغ. أما إذا كانت عملية التعبئة من أسـفل الحاوية فتنخفض

كمية الانبعاثات بشـكل كبير. كما تعتمد كمية الانبعاثات أيضـاً على درجة تبخر المواد ودرجة حرارتها، إضافة إلى العوامل الجوية أثناء التعبئة أو التفريغ.

5-2-1: وحدة معالجة المياه الملوثة Waste Water Treatment

تعالج المياه الملوثة قبل خروجها من المصـــفاة في وحدة تشـــمل نوعين من المعالجة، أولية وثانوية. تتألف مرحلة المعالجة الأولية من مرحلتين، يتم في الأولى تمرير المياه الملوثة عبر فاصـــل API ببطء ليســـمح للزيوت أن تطفو على ســـطح الفاصل، لتفصل وتحول إلى خزانات حيث يعاد تكريرها، بينما تترسب المواد الصلبة في الأســـفل وتســـحب إلى حوض تجميع الحمأة Sludge Collector. أما المرحلة الثانية فتتألف من عملية فصل كيميائية أو فيزيائية أو كلاهما معاً للزيـــوت المستحلبة في المياه. وفي المعالجة الثانوية يتم نزع الزيوت والملوثات العضـــوية بالطريقة البيولوجية.

تنطلق الانبعاثات الغازية من وحدة تجميع ومعالجة المياه الملوثة في مصـــفاة تكرير النفط من المصادر الرئيسية التالية:

- خطوط تجميع نقاط تصفية أوعية الوحدات الإنتاجية.
- أحواض فصل الزيت عن الماء بالتثاقل API Separators.
- أحواض التعويم بالهواء Air Flotation.
- أحواض تجميع مياه الأمطار وأحواض تجميع المياه السطحية.

تعتبر المصـــادر الثلاثة الأولى من أكثر المصـــادر التي تطلق انبعاثات غازية، أما أحواض تجميع مياه الأمطار فتهمل كمية الانبعاثات التي تنطلق منها لأنها في الحالة العادية يجب أن تكون خالية من الزيوت، أما إذا احتوت على كمية من الزيوت الحرة فعندئذ يجب معالجتها في أحواض فصل الزيت عن الماء في وحدة معالجة المياه الملوثة.

تنطلق الأبخرة الهيدروكربونية من أحواض تجميع المياه الزيتية التي ترد من عمليات التكرير، وشبكة أنابيب تصفية خزانات النفط الخام والمنتجات، حيث تطفو طبقة من الزيوت أعلى الحوض وتتبخر بتأثير العوامل الجوية. كما تنطلق المركبات العضوية الطيارة من أحواض تجميع وتجفيف الحمأة البترولية قبل نقلها للدفن أو الحرق خارج المصفاة.

1-2-6: منظومة تصريف الغازات والسوائل الخطرة Blowdown System

تتصل كافة المعدات في عميات التكرير بشبكة تجميع عبر صمامات أمان وخطوط أنابيب، تستخدم للتصريف الآمن للغازات والسوائل الخطرة التي يتطلب تحريرها إلى خارج الوحدة، سواء بطريقة يدوية أو آلية، وذلك عند توقيف الوحدات الإنتاجية وتفريغها لإجراء أعمال الصيانة، أو أثناء التوقفات الطارئة. تتكون وحدة تصريف السوائل والغازات من مجموعة من الأوعية لفصل السوائل وترحيلها إلى خزانات خاصة ليعاد تكريرها، أما الغازات الخفيفة فترحل لحرقها في الشعلة.

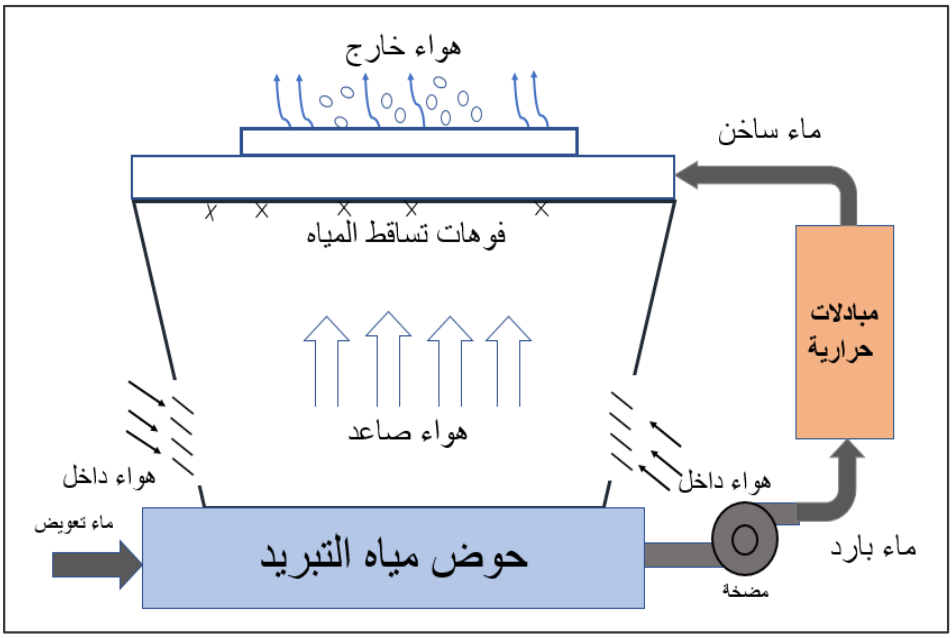
تنطلق من منظومة تصريف الغازات والسوائل الخطرة انبعاثات غازية مكونة بشكل رئيسي من أكاسيد الكبريت والكربون والنيتروجين، والجسيمات الدقيقة، وذلك نتيجة حرق الغازات الهيدروكربونية في الشعلة. إضافة إلى مركبات عضوية طيارة ناتجة عن تسرب المواد البترولية من الصمامات والتوصيلات. (Rao, R., & Krishna, K., 2012)

1-2-7: منظومة أبراج مياه التبريد

تستخدم المياه في عمليات التكرير لتبريد المواد النفطية بواسطة المبادلات الحرارية، ثم ترحل المياه الساخنة إلى أبراج التبريد لنزع الحرارة الممتصة، ومن ثم تعاد بعد تبريدها في دورة مغلقة إلى عمليات التكرير. يبين الشكل 1-3 نموذج أبراج مياه التبريد في مصفاة النفط.

تنطلق من أعلى أبراج التبريد ذرات مياه دقيقة الحجم ناتجة عن تبخر المياه الساخنة، وعندما يحدث تسرب في أحد المبادلات الحرارية تنتقل المواد الهيدروكربونية إلى المياه فتتبخر مشكلة انبعاثات من المركبات العضوية الطيارة إلى الهواء الجوي.

الشكل 3-1: نموذج أبراج مياه التبريد في مصفاة النفط



المصدر: Stevenson, E., 2015

3-1: العوامل المؤثرة في كمية انبعاثات مصافي النفط

أشارت نتائج دراسة استقصائية نشرتها مجموعة البنك الدولي في عام 2013 إلى أن معدل الانبعاثات الهوائية لمصافي النفط في العالم تتفاوت كثيراً من مصفاة لأخرى تبعاً لعوامل عديدة. يبين الجدول 3-1 المعدل الوسطي لأهم انبعاثات مصافي النفط. (IFC, 2013)

الجدول 1-3: المعدل الوسطي لأهم انبعاثات مصافي النفط

الانبعاثات	طن/مليون طن نفط مكرر
ثاني أكسيد الكربون CO_2	40000-25000
أكاسيد النيتروجين NOx	450-90
الجسيمات الدقيقة PM	150-60
أكاسيد الكبريت	300-60
المركبات العضوية الطيارة VOC	300-120

المصدر: IFC, 2013

تعود أسباب التباين في كمية الانبعاثات التي تطلقها مصافي النفط إلى عوامل عديدة، أهمها: حجم الطاقة التكريرية للمصفاة، ونوع النفط الخام المكرر، وكثافة استهلاك الطاقة، ونوع عمليات التكرير، ومدى تطور التقنيات المستخدمة فيها، ونوع الوقود المستخدم في أفران عمليات التكرير ومحطات توليد بخار الماء والطاقة الكهربائية، والحالة الفنية لمعدات المصفاة، ومستوى برامج الصيانة الدورية والوقائية المطبقة على وحدات المصفاة، ومدى صرامة التشريعات الناظمة لمواصفات المنتجات النهائية، علاوة على عوامل أخرى كالظروف المناخية، وتوفر أجهزة التحكم بالانبعاثات في عمليات التكرير. (Donnelly, A., et al., 2014)

1-3-1: نوع النفط الخام المكرر

يعتبر نوع النفط الخام المكرر في المصفاة من أكثر العوامل المؤثرة في تغير كمية الانبعاثات التي تطرحها إلى الهواء الجوي، حيث تختلف أنواع النفط الخام من حيث نسب المنتجات الخفيفة والثقيلة والشوائب التي تحتوي عليها كنسبة الكبريت والمعادن وغيرها. فعندما يحتوي النفط الخام على نسبة أعلى من القطفات الثقيلة تحتاج المصفاة إلى وحدات تحويلية ذات طاقة أعلى لتحويل المخلفات الثقيلة غير المرغوبة إلى منتجات خفيفة عالية القيمة لتلبية متطلبات المستهلك. وبالتالي تزداد كمية انبعاثات

المصـفاة من هذه الوحدات الإضـافية. يبين الجدول 1-4 مقارنة بين جودة بعض أنواع النفط الخام. (Venezia, C., 2014)

الجدول 1-4: مقارنة بين جودة بعض أنواع النفط الخام

	بوني خفيف Boney Lt	غرب تكساس معتدل WTI	إيغيل فورد Eagle Ford	باكين Bakken
درجة الجودة °API	35	40	45	42
الكبريت % وزناً	0.15	0.33	0.4	0.2
نسب المنتجات % حجماً				
القطفة الخفيفة	1.7	1.5	3.8	3.5
النافثا C5-165 °م	22.2	29.8	40.1	35.7
وقود نفاثات 165-235 °م	15.8	14.9	12.6	13
ديزل 235-360 °م	37.4	23.5	17.1	17.8
زيت غاز فراغي 360-540 °م	18.3	22.8	21.2	24.8
بواقي 540+ °م	4.6	7.5	5.2	5.2
تحليل النافثا C5-165 °م % حجماً				
نافثينات	51	38	21	23
عطريات	12	12	11	13

المصدر: Venezia, C., 2014

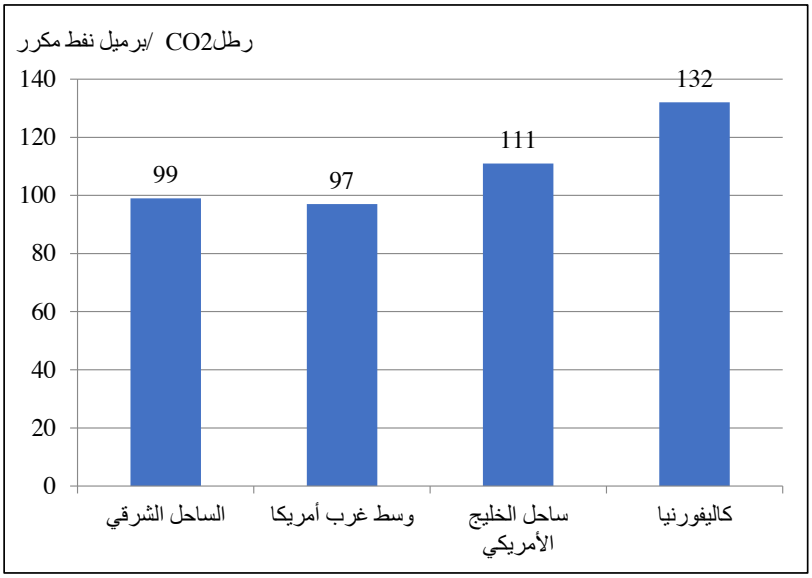
كما تزداد حاجة المصـفاة إلى عمليات تعديل نسـب العطريات والأوليفينات في الغازولين باختلاف نسـبة وجودها في النفط الخام، وذلك لتلبية متطلبات المعايير الخاصـة بإنتاج الوقود الأنظف التي تفرض حد أقصـى لنسـب العطريات والأوليفينات في الغازولين. (مكي، ع.، 2013)

في عام 2011 أجرت مؤسـسـة UCS [1] دراسـة لتقييم معدل الانبعاثات التي تطلقها مصـافي النفط في الولايات المتحدة الأمريكية إلى الهواء الجوي. وقد أظهرت نتائج الدراسـة أن كمية الانبعاثات الغازية التي تطلقها مصـافي ولاية كاليفورنيا هي

[1] Union of Concerned Scientists, Oakland, California, USA.

الأعلى مقارنة بمصافي الولايات الأمريكية الأخرى، ويعود السبب في ذلك إلى تكرير نفط ذي درجة كثافة أعلى، ويحتوي على نسبة كبريت أعلى، على الرغم من أنها تستخدم أنواعاً من الوقود ذات جودة عالية في الأفران والمراجل البخارية مقارنة بمصافي الولايات الأخرى. يبين الشكل 1-4 مقارنة بين معدل انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون التي تطلقها مصافي النفط في بعض مناطق الولايات المتحدة الأمريكية.

الشكل 1-4: مقارنة بين معدل انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون التي تطلقها مصافي النفط في بعض مناطق الولايات المتحدة الأمريكية



المصدر: UCS, 2011

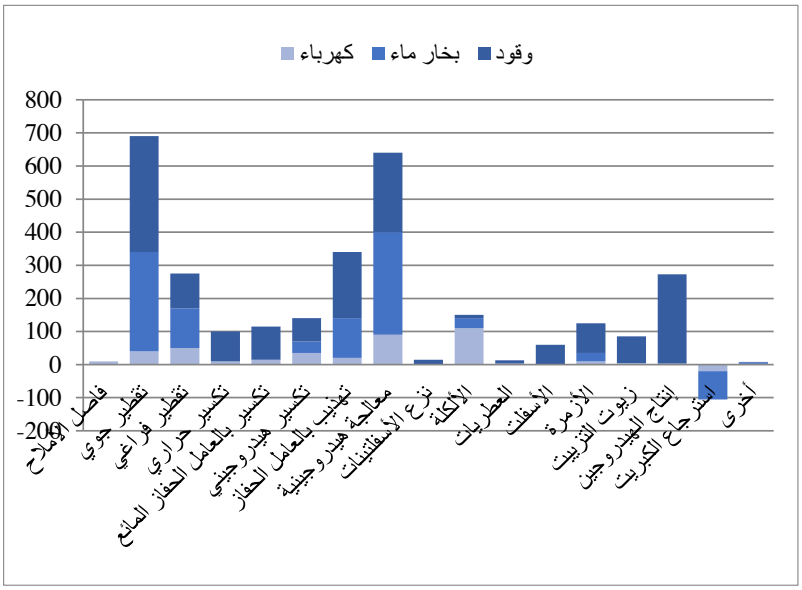
1-3-2: نوع عمليات التكرير في المصفاة

تختلف كمية انبعاثات المصافاة إلى الهواء الجوي باختلاف نوع عمليات التكرير، فعلى سبيل المثال، عندما تعتمد المصافاة على عمليات التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC لتحويل القطفات الثقيلة إلى منتجات خفيفة عالية القيمة فإنها تطلق انبعاثات غازية بكميات أعلى مقارنة بالمصافاة التي تعتمد على عمليات التكسير الهيدروجيني، أو المصافاة البسيطة التي لا تحتوي على وحدات تحويلية.

(Donnelly, A., et al., 2014) يبين الشكل 1-5 معدل استهلاك الطاقة في مصافي نفط الولايات المتحدة الأمريكية حسب نوع عمليات التكرير.

الشكل 1-5: معدل استهلاك الطاقة في مصافي الولايات المتحدة الأمريكية حسب نوع عمليات التكرير

(مليون غيغا جول/السنة)



المصدر: Barthe, P. et al., 2015

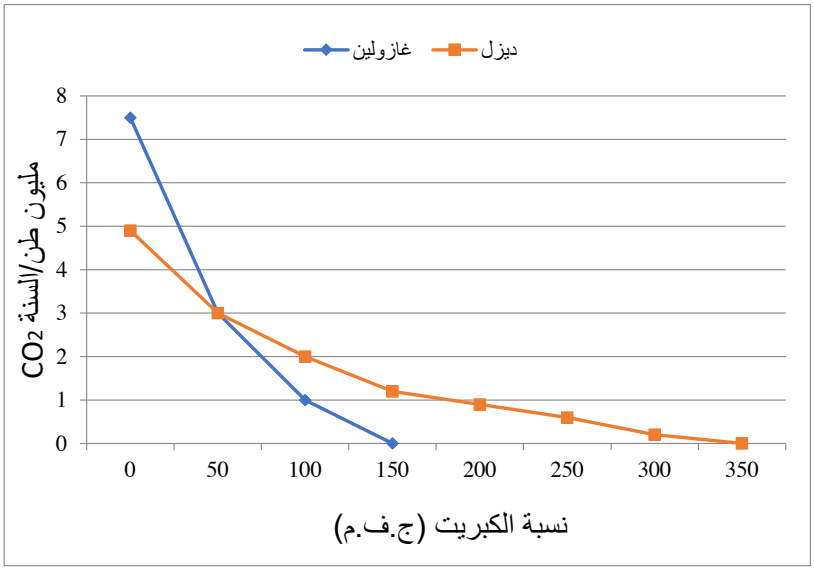
1-3-3: جودة مواصفات منتجات المصفاة

تختلف كمية ونوع انبعاثات مصافي النفط تبعاً لمستوى صرامة معايير جودة مواصفات المنتجات النفطية. فعلى سبيل المثال، عندما تلتزم المصفاة بإنتاج الوقود الأنظف وفقاً للمعايير العالمية المتطورة كوقود الديزل الحاوي على نسبة منخفضة جداً من الكبريت ULSD [1] فإنها تحتاج إلى طاقة عمليات معالجة هيدروجينية أعلى، والتي بدورها تطلق انبعاثات ملوثة للبيئة.

[1] Ultra-Low Sulphur Diesel

كما أشـــارت نتائج إحدى الدراســـات إلى أن خفض كل كيلوغرام كبريت من المنتجات النفطية ينتج عنه انبعاث 10 كغ من غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2، وبالتالي عندما ينخفض الحد الأقصـــى المســـموح لمحتوى الكبريت في المواصـــفات القياســـية للمنتجات النفطية تزداد كمية CO_2 المنبعثة من عمليات التكرير في المصـــفاة. يبين الشكل 1-6 العلاقة بين معدل انبعاثات المصفاة ودرجة صرامة المواصفات القياسية للغازولين والديزل.

الشكل 1-6: العلاقة بين معدل انبعاثات المصفاة ونسبة الكبريت في المواصفات القياسية للغازولين والديزل



المصدر: Reinaud, J., 2005

1-3-4: نوع الوقود المستخدم

تســـتهلك مصـــافي النفط كمية كبيرة من الوقود في أفران عمليات التكرير ومحطات توليد بخار الماء والطاقة الكهربائية. وتختلف نســـبة الانبعاثات الناتجة عن حرق الوقود باختلاف نسب مكوناته من الكربون والهيدروجين، ونوع الهيدروكربونات الداخلة في تركيبه. (Mathpro, 2013) يبين الجدول 1-5 كمية غاز ثاني أكســـيد الكربون CO_2 المنبعثة من الفرن حسب نوع الوقود.

الجدول 1-5: كمية CO_2 المنبعثة من الفرن حسب نوع الوقود

نوع الوقود	كغ CO2/غالون وقود
بروبان	5.76
بيوتان	6.71
مزيج بروبان+ بيوتان	6.21
غازولين	8.89
كيروسين	9.75
زيت الوقود	11.79
فحم بترولي	14.70

المصدر: EIA, 2016

1-3-5: حجم الطاقة التكريرية

عندما ترتفع الطاقة التكريرية للمصفاة فمن الطبيعي أن تزداد معها كمية الانبعاثات التي تطرحها إلى الهواء الجوي، إلا أنه في بعض الحالات يمكن أن يكون لارتفاع الطاقة التكريرية دور إيجابي في خفض معدل الانبعاثات التي تطلقها المصفاة لكل طن من النفط المكرر، وذلك من خلال إتاحة الفرصة لتجميع مصادر الانبعاثات في نقطة واحدة بدلاً من تشتيتها في عدة مصادر، علاوة على توفر إمكانية تركيب أجهزة معالجة غازات احتراق الوقود قبل خروجها من المدخنة، أو تركيب معدات تصفية للانبعاثات الناتجة عن عمليات التكرير. فعلى سبيل المثال عندما ترتفع طاقة وحدة استرجاع الكبريت ينعكس ذلك على كمية بعض الانبعاثات التي تنطلق من الوحدة نتيجة تعديل كفاءة استرجاع الكبريت، وبالتالي ينعكس ذلك على نسبة الملوثات المنبعثة من المدخنة، وأهمها نسبة غاز كبريتيد الهيدروجين. وهذا ما دفع وكالة حماية البيئة الأمريكية في عام 2008 إلى تحديد قيم مختلفة لشروط عمل وحدات استرجاع الكبريت في مصافي النفط تبعاً لطاقتها الإنتاجية. يبين الجدول 1-6 كفاءة وحدة استرجاع الكبريت تبعاً للطاقة الانتاجية للوحدة. (EPA, 2008)

الجدول 1-6: كفاءة استرجاع الكبريت وفقاً للطاقة الانتاجية للوحدة

الطاقة الإنتاجية (طن/اليوم)	كفاءة استرجاع الكبريت (%)
أعلى من 20	98.7
20-5	96
5-1	94

المصدر: EPA, 2008

1-3-6: توفر نظم قياس ومراقبة كمية انبعاثات المصفاة

إن وجود أجهزة مراقبة وقياس كمية الانبعاثات التي تطلقها المصفاة يساهم بشكل فعال في تحديد مواطن الخلل وتحفيز إدارة المصفاة لاتخاذ القرارات اللازمة لضبط الكميات الزائدة. (Song, L., & Hansmeyer, D., 2015)

1-4: انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط

لا تقتصر انعكاسات تطبيق تشريعات خفض الانبعاثات على تحسين جودة الهواء الجوي والحد من آثارها الضارة على الإنسان والبيئة، بل تؤثر أيضاً على ربحية صناعة التكرير، وذلك نتيجة الأعباء التي تنتج عن التكاليف اللازمة لاتخاذ الإجراءات الممكنة للحد من الانبعاثات، وتركيب معدات المعالجة التي تمكنها من الامتثال لمتطلبات التشريعات البيئية. إلا أنه لابد من الإشارة إلى أن لإجراءات خفض الانبعاثات فوائد على كل من التجمعات السكنية المحيطة بموقع المصفاة، وعلى صناعة تكرير النفط بشكل عام، حيث أن معظم الانبعاثات مواد ذات قيمة ثمينة يمكن استرداد جزء كبير من تكاليف استرجاعها، بإعادة استخدامها بدلاً من طرحها إلى الهواء الجوي. وفيما يلي عرض لأهم انعكاسات تطبيق تقنيات خفض الانبعاثات الغازية في مصافي النفط.

1-4-1: انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط على صحة الإنسان

يتعرض الإنسان للملوثات الهوائية الخطرة بشكل مباشر من خلال الاستنشاق، أو غير مباشر عن طريق تناول الطعام والمياه، حيث من الممكن أن تنتقل الملوثات من الهواء إلى الماء عن طريق التحلل الهوائي، أو بواسطة التبادل الغازي بين سطح الماء والهواء، كما يمكن أن تترسب الملوثات على المزروعات والتربة، لهذا فإن أي تخفيض في كمية الانبعاثات يساهم في تخفيض أخطار الإصابة بالأمراض، ويخفض معدل الوفيات، حيث أشارت دراسة نشرتها وكالة حماية البيئة الأمريكية أن الآثار السلبية لانبعاثات مصافي النفط يمكن أن تؤثر على صحة الأشخاص القاطنين في محيط دائرة يصل قطرها إلى حوالي 50 كيلومتر من موقع المصفاة. (US-EPA, 2013)

تتضمن فقرات قانون الهواء النظيف الذي أصدرته وكالة حماية البيئة الأمريكية، أن مصافي النفط تطلق كمية كبيرة من الانبعاثات الضارة بصحة الإنسان وتسبب أمراض القلب، والموت الفجائي، والسرطان، وأمراض الجهاز التنفسي، كالربو والحساسية وتهتك الرئة المزمن، وأمراض ضعف المناعة المكتسبة، وتشوه المواليد، ومشكلات الجهاز العصبي المركزي. (Earthjustice, 2015)

كما تصنف وكالة حماية البيئة الأمريكية EPA الانبعاثات الهوائية التي تطلقها مصافي تكرير النفط من حيث تأثيرها على صحة الانسان إلى الفئات التالية: (US-EPA, 2013)

- **الانبعاثات المسرطنة**

وهي المركبات التي أثبتت الدراسات العلمية أن تعرض الإنسان لها يزيد من خطورة الإصابة بالسرطان. ويعتبر البنزين العطري أحد المركبات العضوية الطيارة المسرطنة التي تطلقها المصافي، حيث أشارت العديد من الدراسات العلمية أن التعرض لهذه المادة مدة زمنية طويلة تؤدي إلى الإصابة بمرض اللوكيميا

Leukemia، وفقر الدم "الأنيميا" Anaemia، وهشـــاشـــة العظام، وغيرها من الأمراض الخطرة.

- **الانبعاثات المحتمل تأثيرها المسرطن**

وهي المواد التي تتوفر معلومات قليلة حول احتمال تأثيرها المســـرطن على الحيوانات، مع عدم وجود معلومات عن إصابات بشرية.

- **الانبعاثات غير المسرطنة**

وهي الغازات التي تنبعث من معدات مصـــافي النفط ولم تظهر دلائل على أنها تســـبب الإصـــابة بالســـرطان، إلا أن التعرض لهذه الملوثات قد يؤدي إلى انعكاســـات ســـلبية وإصـــابات خطيرة على صـــحة الإنســـان والكائنات الحية الأخرى، منها:

- ✓ **التسـمم الجيني Genotoxicity:** وهي حالات إصـابة الكروموسـومات وجهاز الشيفرة الوراثية DNA
- ✓ **التسمم الخلقي Developmental Toxicity:** وهي حالات التسمم التي تصـيب الإنسـان أثناء مرحلة التكوين وهو في بطن أمه، أو بعد الولادة في مرحلة النضوج الجنسي.
- ✓ **التســمم التناســلي Reproduction Toxicity:** وهي الأمراض التي تصيب الخصوبة نتيجة تعرض أحد الأبوين إلى الغازات السامة.
- ✓ **التسـمم الجهازي Systemic Toxicity:** وهي الآثار التي تصـيب جزء من جسـم الإنسـان كأمراض الاحمرار الجلدي، وتحسـس العيون والجهاز التنفسي.

كما أشـــارت العديد من الدراســـات والأبحاث العلمية إلى وجود ارتفاع ملموس في معدلات الإصابة بسرطان الدم لدى القاطنين بالقرب من مصافي النفط. فعلى سبيل

المثال، نشرت مجلة Environmental Health News الإلكترونية الأمريكية نتائج دراسة قام بها مجموعة من العلماء في السويد، حول العلاقة بين ارتفاع معدل الإصابة بأمراض السرطان، وبين السكن بالقرب من مصافي النفط، وخصوصاً حالات سرطان الدم. وقد بينت نتائج الدراسة أن معدل الإصابة بمرض سرطان الدم Leukemia لدى القاطنين بجوار مصفاة ليسيكيل Lysekil التي تعتبر إحدى أكبر مصافي النفط، والأكثر تطوراً في أوروبا الغربية، في محيط دائرة قطرها 2-5 كيلومتر، قد ارتفع بمعدل 50% عن النسبة المتوقعة في البيانات الإحصائية، خلال السنوات الثلاثين الماضية، حيث سجلت 33 حالة، بينما كان العدد المتوقع في البيانات الإحصائية 22 إصابة. كما أن العدد الأعلى للإصابات سجل خلال السنوات العشر الماضية حيث وصلت إلى 19 حالة بينما كان العدد المتوقع إحصائياً 8.5 حالة. (Barregard, L., Holmberg, E., & Sallsten, G., 2009)

علاوة على ما لانبعاثات المركبات العضوية الطيارة من آثار سلبية عديدة على صحة الإنسان والكائنات الحية الأخرى، فإن التقاء هذه المركبات مع أكاسيد النيتروجين NOx يحفز تشكيل الأوزون في الطبقات الدنيا من الغلاف الجوي Tropospheric Ozone عند ارتفاع درجة حرارة الطقس. ومن المعلوم أن للأوزون انعكاسات خطيرة على صحة الجهاز التنفسي للإنسان. لذلك فإن أي تخفيض في انبعاثات مصافي النفط يساهم في تخفيض الأضرار الصحية على الإنسان والكائنات الحية الأخرى التي تنتج عن ارتفاع تركيز الأوزون في الغلاف الجوي. (US-EPA, 2013)

1-4-2: انعكاسات خفض انبعاثات مصافي النفط على البيئة

تشير بعض الدراسات إلى وجود دور لانبعاثات مصافي النفط على تشكل المطر الحمضي، وتخليق الأوزون الأرضي، والضباب الدخاني، علاوة على الروائح الكريهة التي تسبب إزعاج التجمعات السكنية المجاورة للمصفاة، وخصوصاً في الفترات التي

يرتفع فيها تركيز الانبعاثات في الهواء الجوي عندما تكون سرعة الرياح منخفضة. (Wakefield, B., 2007)

3-4-1: انعكاسات خفض الانبعاثات على ربحية صناعة التكرير

إن لتلبية متطلبات التشريعات البيئية الخاصة بخفض الانبعاثات الغازية انعكاسات إيجابية وأخرى سلبية على مصافي النفط، حيث أن إجراءات خفض الانبعاثات تتطلب إضافة أعباء مالية ناتجة عن تخصيص الأموال اللازمة لشراء وتركيب المعدات الجديدة أو تطوير المعدات الموجودة، التي تستخدم للتحكم بطرح الانبعاثات إلى البيئة، فضلاً عن تكاليف تشغيل وصيانة تلك المعدات، وإجراءات مراقبة كمية الانبعاثات التي تطرحها المصفاة، وإعداد التقارير الدورية التي ترفع إلى الجهات المختصة بمراقبة تلوث البيئة.

في عام 2012 قام مركز أبحاث الطاقة في هولندا ECN [1] بالتعاون مع مؤسسة وود ماكينزي Wood Mackenzie بإعداد دراسة لتقييم انعكاسات تطبيق تشريعات خفض انبعاثات المصافي المتوقع إصدارها مستقبلاً على ربحية صناعة التكرير الهولندية، وموقعها التنافسي، والقيمة التي تضيفها إلى الاقتصاد الهولندي[2].

أظهرت نتائج الدراسة أن أعباء التكاليف الإضافية التي ستترتب عن تطبيق الإجراءات الصارمة الجديدة ستؤدي إلى خفض هامش ربحية قطاع التكرير بمعدل 0.86 دولار أمريكي/البرميل، أو ما يعادل 400 مليون دولار أمريكي سنوياً، أي بانخفاض 20% مقارنة بأرباح عام 2012، وبالتالي تراجع القدرة التنافسية لهذا القطاع. (Plomp, A., et al., 2015)

اعتمدت فرضية الدراسة على خطة خفض انبعاثات المصفاة بمعدل يتراوح ضمن المجال 50-75% حتى عام 2025 مقارنة بالوضع القائم في عام 2012. وذلك

[1] Energy Center of Netherland

[2] تعرف القيمة التي تضيفها المصفاة إلى الاقتصاد الوطني بأنها مجموع أرباح تشغيل المصفاة مضافاً إليها الرواتب والتعويضات التي تمنح للعاملين، وتحسب بالمعادلة التالية: القيمة المضافة = قيمة المنتجات- كلفة اللقائم - تكاليف التشغيل + رواتب العاملين.

من خلال تنفيذ العديد من الإجراءات، أهمها:

- ✓ **خفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين NOx**، بتركيب حراقات منخفضة أكاسيد النيتروجين Low-NOx Burners في أفران المصفاة، وإنشاء وحدة معالجة غازات الاحتراق DeNOx
- ✓ **خفض انبعاثات أكاسيد الكبريت** SOx بتركيب وحدات نزع الكبريت من غازات احتراق وقود الأفران، ومن الوقود الغازي، ورفع كفاءة وحدة استرجاع الكبريت SRU[1] إلى 99.8%.
- ✓ **خفض المركبات العضوية الطيارة غير الميثان** NM-VOC[2] بتركيب موانع تسرب مضاعفة لخزانات المنتجات البترولية، وتركيب أسقف ثابتة فوق الخزانات ذات السقف العائم، وتركيب وحدات استرجاع أبخرة على معظم خطوط تحميل وتفريغ المنتجات.
- ✓ **الحد من الأخطار والحوادث الطارئة**، وذلك من خلال تركيب معدات مراقبة، كالأجهزة الواقية من حوادث فيضان الخزانات نتيجة زيادة التعبئة عن الحدود القصوى.
- ✓ **تركيب أجهزة قياس مستمر لكمية الانبعاثات**، وذلك لرصد أي تحولات غير عادية، والعمل على معالجتها في أقرب فرصة ممكنة.

على الرغم من الأعباء المالية التي تتحملها المصفاة عند تطبيق برامج وإجراءات خفض الانبعاثات، إلا أنها يمكن أن تساهم في تحسين الربحية من خلال استرجاع الغازات الهيدروكربونية، والاستفادة منها بدلاً من طرحها إلى الهواء الجوي أو حرقها، علاوة على القيمة المعنوية التي تكتسبها المصفاة لدى الجمهور والتجمعات السكنية المجاورة نتيجة التزامها بتشريعات حماية البيئة من التلوث.

[1] Sulfur Recovery Unit
[2] Non-Methane Volatile Organic Compounds

الفصل الثاني

تقنيات خفض انبعاثات مصافي النفط

2-1: تقنيات خفض انبعاثات حرق الوقود

2-1-1: تقنيات خفض انبعاثات أكاسيد الكبريت
2-1-2: تقنيات خفض انبعاثات الكربون
2-1-3: تقنيات خفض أكاسيد النيتروجين
2-1-4: تقنيات خفض انبعاث الجسيمات الدقيقة

2-2: تقنيات خفض انبعاثات وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع

2-3: تقنيات خفض انبعاثات وحدات استرجاع الكبريت

2-4: تقنيات خفض انبعاثات شبكات خطوط الأنابيب والمعدات

2-5: خفض انبعاثات خزانات النفط الخام والمنتجات النفطية

2-6: تقنيات خفض انبعاثات منظومة تحميل وتفريغ المنتجات

2-7: تقنيات خفض الانبعاثات الهيدروكربونية من وحدة معالجة المياه الملوثة

2-8: تقنيات خفض انبعاثات حرق الغازات في الشعلة

2-9: إدارة الروائح المنبعثة من المصفاة

2-10: عوامل اختيار التقنية الأنسب لخفض انبعاثات مصافي النفط

الفصل الثاني

تقنيات خفض انبعاثات مصافي النفط

مقـدمة

أدت الأعباء التي فرضتها التشريعات البيئية على صناعة تكرير النفط إلى دفع القائمين على هذه الصناعة نحو البحث عن أفضل التقنيات والإجراءات التي تساهم في خفض الانبعاثات بأقل التكاليف الممكنة.

يتضمن هذا الفصل عرضاً لتقنيات خفض كل من الانبعاثات الناتجة عن حرق الوقود في أفران ومحطات توليد بخار الماء والطاقة الكهربائية، وانبعاثات المركبات العضوية الطيارة. إضافة إلى انبعاثات عمليات تنشيط العامل الحفاز في وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC، وحرق الغازات على الشعلة. كما يتناول أهم الخيارات المتاحة لتنفيذ كل تقنية، وتكاليف تطبيقها، وشروط نجاحها، وأهم العوامل المؤثرة في اختيار التقنية الأنسب لظروف المصفاة.

2-1: تقنيات خفض انبعاثات حرق الوقود

تصنف تقنيات خفض الانبعاثات الناتجة عن حرق الوقود في مجموعتين، تتضمن المجموعة الأولى تقنيات ما قبل حرق الوقود، مثل تطبيق برنامج إدارة الطاقة، واستبدال نوع الوقود المستخدم أو تحسين مواصفاته. أما المجموعة الثانية فتتضمن تقنيات ما بعد حرق الوقود، كمعالجة غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة.

يتكون برنامج إدارة الطاقة في مصافي النفط من مجموعة إجراءات تهدف إلى ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها، في كافة المواقع والمعدات، بما

يؤدي إلى خفض الانبعاثات التي يمكن أن تتشكل من استهلاك الطاقة وحرق الوقود، فضلاً عن دورها في المحافظة على الموارد الطبيعية، وتوفير التكاليف الباهظة الناتجة عن خفض كمية الوقود المستهلك. من أهم الإجراءات المتبعة لترشيد استهلاك الطاقة في مصافي النفط ما يلي: (مكي، ع.، 2012)

- تحسين التبادل الحراري في الوحدات الإنتاجية.
- تحسين التكامل بين الوحدات لتفادي التبريد المرحلي بين العمليات المتتالية.
- استرجاع المخلفات الغازية واستخدامها كوقود في المصفاة بدلاً من حرقها في منظومة الشعلة.
- الاستفادة من الحرارة الضائعة في غازات المداخن لتسخين الهواء الداخل إلى الحراقات أو لإنتاج بخار الماء.
- تنظيم ظروف تشغيل العمليات التي تساهم في خفض استهلاك الطاقة، كتنظيف المبادلات الحرارية لإزالة الرواسب التي تعيق التبادل الحراري، وتنظيم نسبة الأوكسجين في غازات المداخن لتحسين مردود اشتعال الوقود.
- تطبيق تقنية التوليد المشترك لتوليد الطاقة الكهربائية وإنتاج بخار الماء في منظومة واحدة، بهدف تحسين الكفاءة الحرارية، وبالتالي خفض الانبعاثات الناتجة إلى قيمة أدنى مقارنة بحالة استخدام العمليتين منفصلتين، وذلك نتيجة خفض استهلاك الوقود، من خلال الاستفادة من الحرارة الضائعة من محطة توليد الطاقة الكهربائية في تسخين المياه الداخلة إلى المنظومة، وفي توليد بخار الماء.

تعتمد كمية ونوع انبعاثات أكاسيد الكربون الناتجة عن حرق الوقود في أفران العمليات ومحطات توليد البخار والطاقة الكهربائية على نوع الوقود ومحتواه من الكربون والشوائب، فعند استبدال الوقود بآخر يحتوي على ذرات كربون أقل وهيدروجين أكثر ينتج عن ذلك خفض في كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعثة من

المدخنة، فعلى سبيل المثال يساهم استخدام الغاز الطبيعي كوقود في أفران العمليات ومحطات توليد الطاقة الكهربائية في خفض كمية انبعاثات المصفاة نظراً لاحتوائه على ذرات كربون أقل مقارنة بزيت الوقود.

يمكن خفض انبعاثات حرق الوقود في الأفران بتعديل مواصفات الوقود المستخدم، فعلى سبيل المثال يمكن إنتاج غاز غني بالهيدروجين، باستخدام تقنية التحويل إلى غاز، أو التغويز Gasification، حيث يتم تحويل الوقود الثقيل، كالفحم والمخلفات الثقيلة لعمليات تقطير النفط الخام، إلى غاز اصطناعي Syngas يتكون من هيدروجين وأول أكسيد الكربون CO، ثم يحول غاز أول أكسيد الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون CO_2 حيث يتم فصله للحصول على وقود غني بالهيدروجين. (Rameshni, M., 2011)

تجدر الإشارة إلى أن استخدام وقود غازي يحتوي على نسبة عالية من الهيدروجين يرافقه العديد من الصعوبات يجب أخذها بعين الاعتبار، كضرورة إعادة تصميم الحراقات Burners بما يتناسب مع تعديل نسبة الهيدروجين في الوقود، وارتفاع كمية الحرارة الناتجة عن حرق الهيدروجين، واضطراب شكل اللهب. وفيما يلي أهم التقنيات المتبعة لخفض انبعاثات الوقود في مصافي النفط.

2-1-1: تقنيات خفض انبعاثات أكاسيد الكبريت

يمكن خفض انبعاثات أكاسيد الكبريت الناتجة عن حرق الوقود في الأفران ومحطات توليد الطاقة الكهربائية وبخار الماء من خلال ثلاث طرق. تعتمد الطريقة الأولى على مبدأ خفض كمية الكبريت في الوقود الداخل إلى الوحدة، وذلك من خلال عمليات المعالجة لنزع الكبريت بطريقة المعالجة الهيدروجينية، وتعتمد الثانية على مبدأ استبدال الوقود بوقود من نوع آخر يحتوي على نسبة أخفض من الكبريت، كالغاز الطبيعي. أما الطريقة الثالثة فتعتمد على مبدأ معالجة الغازات الناتجة عن احتراق الوقود قبل خروجها من المدخنة. (Bashammakh, M., 2011)

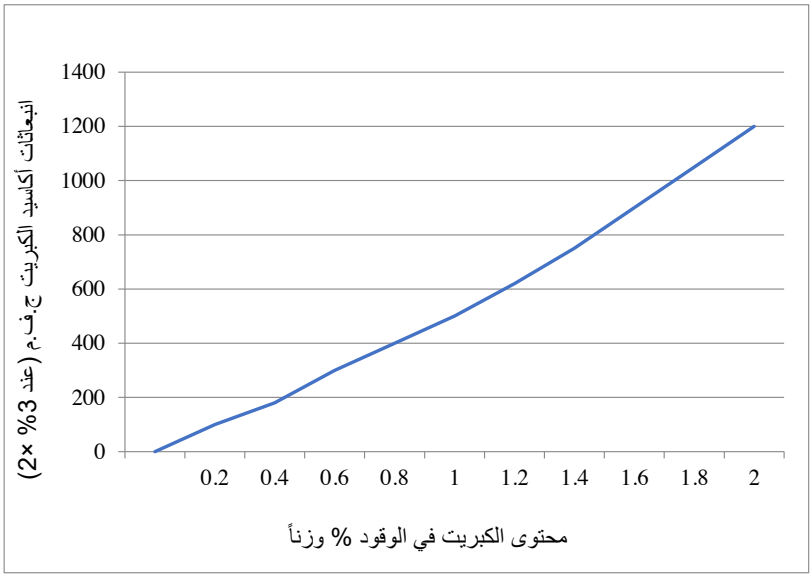
- **تكرير نفط خام يحتوي على نسبة كبريت منخفضة**

يمكن خفض انبعاثات أكاسيد الكبريت التي تطلقها المصفاة بتكرير أنواع من النفط الخام تحتوي على نسبة كبريت منخفضة. إلا أن هذا الخيار يحتاج إلى دراسة جدوى اقتصادية للموازنة بين كلفة تغيير نوع النفط الخام المكرر، وكلفة عمليات نزع الكبريت من المنتجات.

- **نزع الكبريت من الوقود**

تتناسب كمية انبعاثات أكاسيد الكبريت في غازات مداخن المصفاة طردياً مع نسبة الكبريت في الوقود المستخدم. يبين الشكل 2-1 العلاقة بين نسبة الكبريت في الوقود وكمية أكاسيد الكبريت في غازات المدخنة (CleaverBrooks, 2010)

الشكل 2-1: العلاقة بين نسبة الكبريت في الوقود وكمية أكاسيد الكبريت في غازات المدخنة



المصدر: CleaverBrooks, 2010

يمكن خفض نسبة الكبريت في الوقود المستخدم في المصفاة بتطبيق تقنيات المعالجة الهيدروجينية لنزع المركبات الكبريتية، إلا أن هذه الطريقة تعتبر مكلفة مقارنة بالطرق الأخرى.

- **معالجة غازات المدخنة**

تصنف تقنيات نزع أكاسيد الكبريت من غازات المدخنة في ثلاث مجموعات، تقنيات جافة، وشبه جافة، ورطبة.

تعتمد طرق المعالجة الجافة على استخدام البيكربونات، أو الكلس الحي (الجير الحي)، وتتميز ببساطة تركيبها وسهولة تشغيلها، ويمكن تركيبها في مساحة صغيرة، كما أن تكاليف صيانتها منخفضة، إلا أن من مساوئها محدودية طاقتها الاستيعابية عندما يبلغ تركيز الملوثات في غازات المدخنة إلى مستويات مرتفعة، فضلاً عن انخفاض مردودها، لذلك لا تصلح في حالات تلبية متطلبات التشريعات البيئية الصارمة التي تفرض نسب ملوثات منخفضة جداً في غازات المداخن. ومن المساوئ الأخرى لهذه العملية أنها تخلف كميات كبيرة من الرواسب التي تحتاج إلى تكاليف باهظة للتخلص منها.

طورت طريقة المعالجة الجافة إلى الطريقة شبه الجافة لتعزيز التفاعل الكيميائي بين غازات المدخنة ذات الطبيعة الحامضية وبين الكلس الحي الذي يحقن في المدخنة، وذلك من خلال حقن الماء لتنظيم درجة حرارة ونسبة رطوبة الغازات. ويتم حقن الماء إما بشكل مباشر أو ممزوجاً مع الكلس الحي. وتتميز هذه الطريقة عن الطريقة الجافة بارتفاع كفاءتها، وبساطة تشغيلها، وانخفاض نسبة الرواسب التي تنتج عنها. كما تحتاج إلى مساحة أصغر لتركيبها.

أما الطريقة الرطبة فتعتمد على امتصاص أكسيد الكبريت من غازات المدخنة بواسطة محلول قلوي، كالصودا الكاوية أو محلول معتدل. وعلى الرغم من ارتفاع كفاءة هذه الطريقة، وقدرتها على تحمل تغيرات واسعة في نسبة الملوثات في الغازات الداخلة، إلا أن من مساوئها ارتفاع تكاليف الإنشاء والتشغيل، إضافة إلى تكاليف معالجة المياه الملوثة الناتجة عنها. (Ramboll, 2014). يبين الجدول 2-1 مقارنة طرق معالجة غازات المدخنة.

كما تم تحسين كفاءة عمليات نزع أكاسيد الكبريت من غازات الاحتراق اعتماداً على مبدأ تمرير الغازات عبر محاليل كيميائية/أو عامل حفاز، وذلك لتحسين الأداء وخفض تكاليف التشغيل. وتختلف هذه الطرق فيما بينها من حيث إمكانية إعادة تنشيط المحلول الكيميائي أو العامل الحفاز. فبعض العمليات لا تحتوي على معدات تنشيط، وبعضها الآخر يحتوي على معدات فصل الغاز من المحلول وإعادة استخدامه في العملية مرة أخرى. والطريقة الثانية أكثر انتشاراً، حيث أدخلت عليها تطورات مهمة في السنوات الأخيرة، وأصبحت أقل تعقيداً مما كانت عليه.

الجدول 2-1: مقارنة طرق معالجة غازات المدخنة

الخصائص	جافة	شبه جافة	جافة ورطبة	رطبة
كفاءة التشغيل	√√√	√√√	√√	√√
إمكانية التعامل مع تغيرات تركيز الملوثات في اللقيم	√	√√	√√√	√√√
مرونة تلبية متطلبات التشريعات الصارمة	√	√	√√√	√√√
انخفاض معدل استهلاك المواد الكيميائية	√	√√	√√√	√√√
انخفاض استهلاك الطاقة الكهربائية	√√√	√√√	√√	√√
انخفاض نسبة الرواسب	√	√√	√√√	√√√

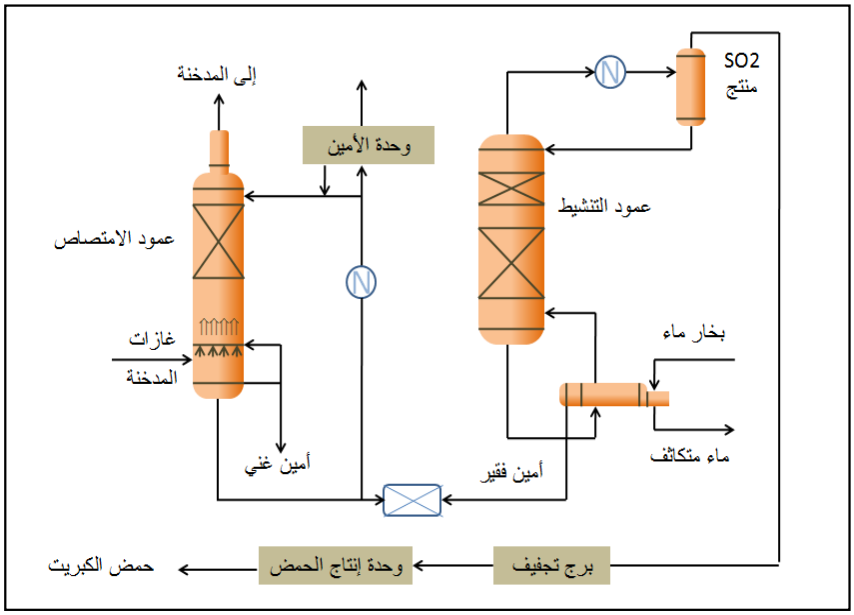
√√√ **جيد جداً**، √√ **جيد**، √ **مقبول**
المصدر: Ramboll, 2014

أحد أكثر الأمثلة انتشاراً لتقنية نزع أكاسيد الكبريت من غازات المدخنة بالتنشيط عملية كانسولف Cansolv، تأتي بعدها طريقة لابسورب Labsorb.

تتميز طريقة **كانسولف** باستخدام محلول أمين Amine Solution لامتصاص ثاني أكسيد الكبريت، حيث يتم إشباع غازات الاحتراق بإمرارها عبر وعاء يحتوي على الماء قبل إدخالها إلى عمود الامتصاص الذي يتم فيه تماس الغازات مع محلول الأمين، ويتم تنشيط محلول الأمين وتنظيفه من الأملاح المترسبة ليعاد استخدامه مرة

أخرى، بينما يؤخذ غاز ثاني أكسيد الكبريت المشبع بالماء إلى برج تجفيف ثم إلى وحدة إنتاج حمض الكبريت. يبين الشكل 2-2 سير عملية كانسولف لامتصاص غاز ثاني أكسيد الكبريت من غازات المدخنة.

الشكل 2-2: سير عملية كانسولف لامتصاص غاز ثاني أكسيد الكبريت من غازات المدخنة



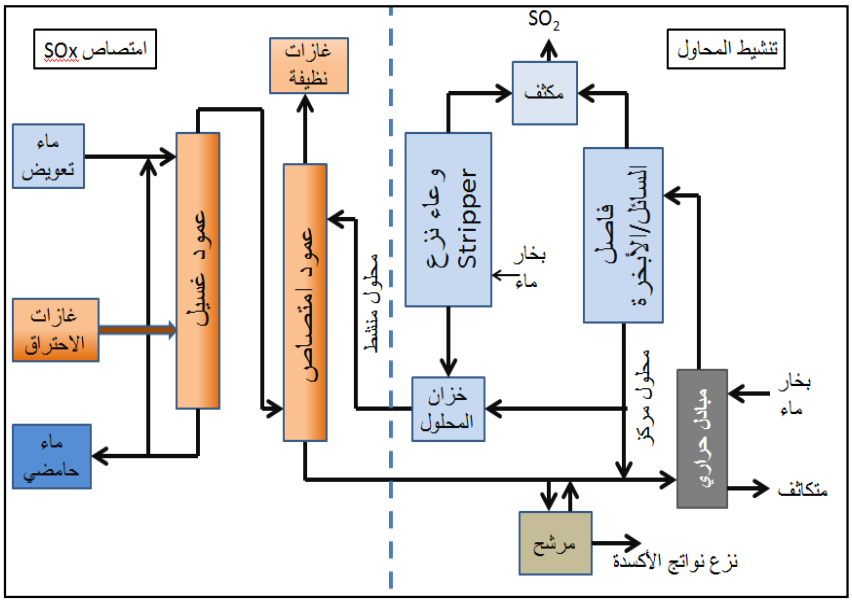
المصدر: Barthe, P., 2015

أما عملية **لابسورب** فتستخدم محلول فوسفات الصوديوم المائي كمادة امتصاص لأكاسيد الكبريت، ويتم تنشيط محلول الامتصاص بواسطة بخار الماء المنخفض الضغط. وتصل نقاوة غاز ثاني أكسيد الكبريت الناتج من هذه العملية إلى أعلى من 90%، حيث يستخدم كلقيم في وحدة استرجاع الكبريت SRU، أو في وحدة إنتاج حمض الكبريت.

تتكون عملية لابسورب من مرحلتين، مرحلة الامتصاص ومرحلة التنشيط. تدخل غازات الاحتراق في المرحلة الأولى إلى عمود غسيل يحتوي على ماء منخفض درجة الحموضة PH لفصل الجسيمات الدقيقة قبل إدخالها إلى عمود الامتصاص الذي يتم فيه امتصاص أكاسيد الكبريت بمحلول فوسفات الصوديوم المائي المنشط، وتخرج

غازات الاحتراق من أعلى وعاء الامتصـــاص نظيفة خالية من أكاســيد الكبريت. أما المحلول المشـبع بأكاسـيد الكبريت فيسـحب من أسـفل وعاء الامتصـاص إلى مرحلة التنشيط لفصـل أكاسـيد الكبريت على شـكل غاز ثاني أكسـيد الكبريت SO_2، ويسـحب لاستخدامه في صناعة حمض الكبريت، بينما يعاد استخدام المحلول المنشط إلى وعاء الامتصـــاص. يبين الشـــكل 2-3 مخطط عملية لابســورب لنزع أكاســيد الكبريت من غازات المدخنة.

الشكل 2-3: مخطط عملية لابسورب لنزع أكاسيد الكبريت من غازات المدخنة



المصدر: Barthe, P., 2015

2-1-2: تقنيات خفض انبعاثات الكربون

يمكن خفض انبعاثات ثاني أكسـيد الكربون الناتجة عن حرق الوقود في الأفران بتطبيق عدة خيارات، منها ما يطبق في مرحلة ما قبل احتراق الوقود ومنها ما يطبق بعد مرحلة الاحتراق.

- **إجراءات ما قبل حرق الوقود،** كترشـــيد اســـتهلاك الوقود وتحســـين كفاءة استخدامه، أو تغيير نوع الوقود المستخدم لآخر يحتوي على نسبة كربون أدنى،

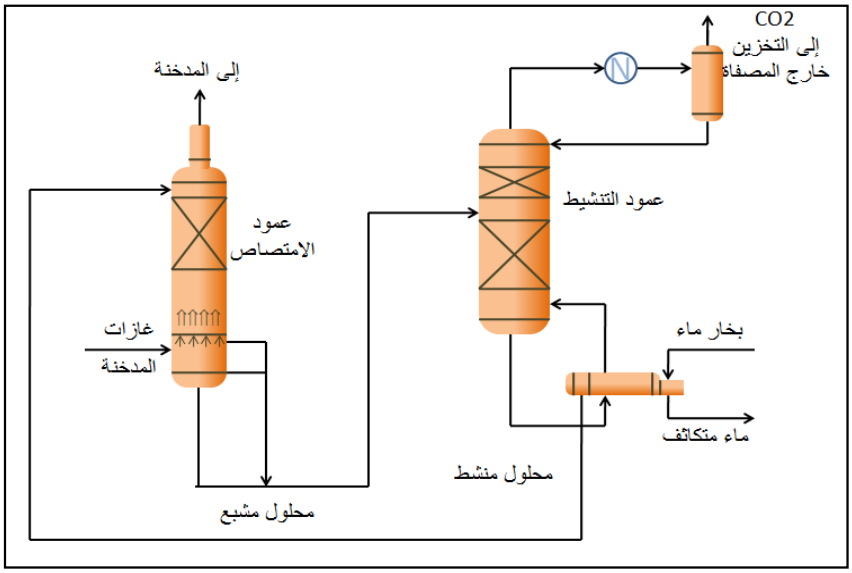
كاستبدال الفحم بالغاز الطبيعي، أو تحويل الوقود الثقيل إلى غاز.

- **إجراءات ما بعد حرق الوقود**، وهي العمليات التي تعتمد على مبدأ معالجة غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة

تعتمد أجهزة معالجة غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة لنزع غاز ثاني أكسيد الكربون على مبدأ الامتصاص بواسطة محلول كيميائي، ثم يعاد فصل الغاز الممتص من المحلول ليحول إلى مستودعات التخزين، أو التصريف خارج المصفاة، إما في أعماق المحيطات أو الطبقات المائية العميقة، أو مكامن آبار النفط والغاز الناضبة، أو التخزين في حاويات محكمة الإغلاق. يبين الشكل 2-4 مخطط عملية فصل غاز ثاني أكسيد الكربون من غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة.

تأتي مشكلة ارتفاع تكاليف معالجة غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة في مقدمة مساوئ تطبيق هذه التقنية، وخصوصاً عندما تكون أفران عمليات المصفاة منتشرة في مناطق متباعدة. كما تختلف الكلفة من مصفاة لأخرى تبعاً لعدد الأفران وتوزعها ومدى توفر إمكانية دمج عدة مداخن في مدخنة مشتركة.

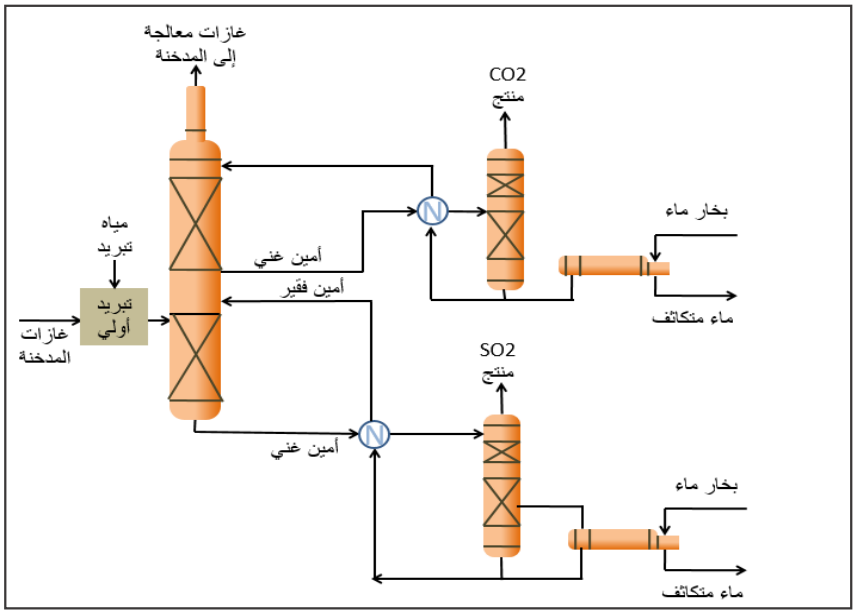
الشكل 2-4: فصل غاز ثاني أكسيد الكربون من غازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة



المصدر: Abuzahra, M., 2009

تجدر الإشـــارة إلى أن شـــركة كانســـولف تيكنولوجيز [1] المملوكة لشـــركة شـــل غلوبال سوليوشنز الدولية[2]، وهي إحدى الشركات التابعة لمجموعة شل دوتش رويال[3] قد طورت طريقة لمعالجة غازات المدخنة من خلال تعديل نوع محلول الامتصـــاص لنزع أكاسـيد الكبريت إضـافة إلى غاز ثاني أكسـيد الكربون في عملية متكاملة. ويبين الشـكل 2-5 مخطط وحدة كانســولف المتكاملة لنزع أكاســيد الكبريت وثاني أكســيد الكربون من غازات المدخنة. (Herzog, H., 1999)

الشكل 2-5: وحدة كانسولف المتكاملة لنزع أكاسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون من غازات المدخنة



المصدر: Rameshni, M,. 2011

2-1-3: تقنيات خفض أكاسيد النيتروجين NOx

تختلف تقنيات خفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين NOx من حيث مكان تركيب التجهيزات، فمنها ما يعتمد على تعديل ظروف تشـــغيل المعدات قبل احتراق الوقود أو

[1] Cansolv Technologies Inc.
[2] Shell Global Solution International
[3] Shell Dutch Royal

بعده، أو بتعديل معدات الاحتراق نفســـها. ويمكن تطبيق أكثر من طريقة في آن واحد لتحسين كفاءة العملية. وفيما يلي أهم هذه التقنيات:

- **تعديل ظروف التشغيل قبل الاحتراق**

يمكن تعديل ظروف التشغيل قبل الاحتراق من خلال تغيير نوع الوقود المستخدم في أفران العمليات والمراجل، كاستعمال الغاز الطبيعي بدلاً من الوقود الثقيل، أو نزع المركبات النيتروجينية من الوقود بعمليات المعالجة الهيدروجينية، إلا أنها عمليات مكلفة جداً.

- **تعديل معدات الاحتراق**

تعتمد تقنية تعديل معدات الاحتراق على تغيير نظام معدات حرق الوقود، وتتكون من الخيارات التالية: (Brajkovic, M., et al., 2014)

✓ **اســـتخدام حراقات متطورة**، تســـاعد على خفض تشـــكل أكاســـيد النيتروجين Low NOx Burners، اعتماداً على مبدأ إدخال الهواء إلى الحراق بشـــكل مرحلي لخفض زمن بقاء الأوكســـجين في منطقة الاحتراق الأولية، وبالتالي خفض درجة حرارة اللهب، وهذه التقنية لا تحتاج إلى تكاليف باهظة، ويكفي اســـتبدال الحراقات القديمة بأخرى جديدة، حيث تتراوح درجة الخفض بهذه الطريقة من 40 - 75%، وأحياناً تصـــل إلى 90%. يبين الشكل 2-6 مبدأ عمل الحراق منخفض أكاسيد النيتروجين.

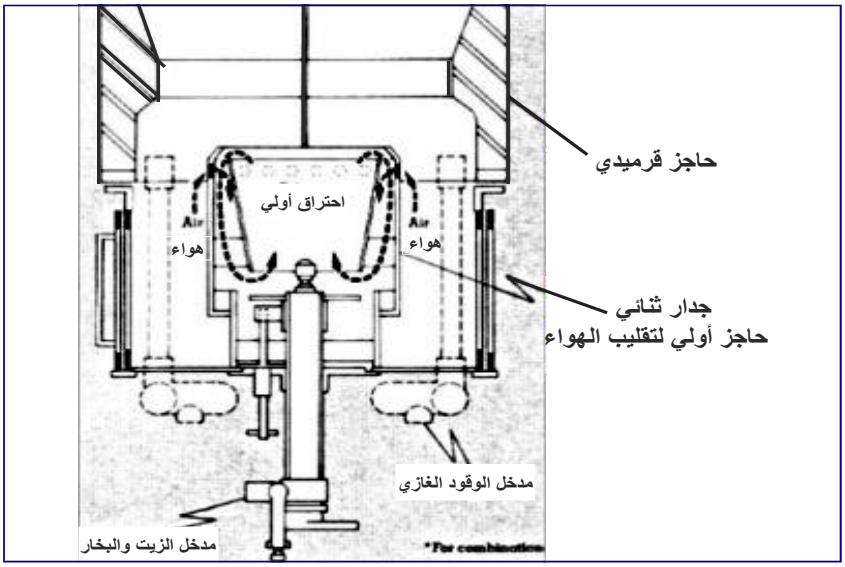
✓ **تقليب غازات المدخنة**، FGR[1] وتعتمد على مبدأ استخدام غازات المدخنة كهواء احتراق في حراقات الفرن، بدلاً من الهواء الجوي الذي يحتوي على كمية أعلى من النيتروجين.

لا تقتصـــر فوائد تقليب غازات المدخنة على خفض انبعاثات أكاســـيد النيتروجين، بل تساهم أيضاً في خفض درجة حرارة اللهب، ورفع كفاءة

[1] Flue Gas Recirculation

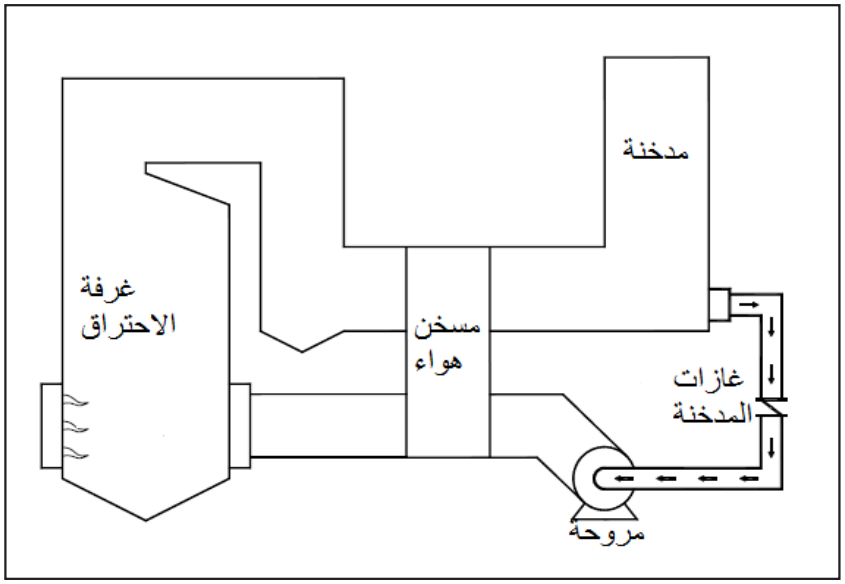
الاحتراق، وخفض استهلاك الوقود. يبين الشكل 2-7 تقليب غازات الاحتراق لخفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين من الفرن.

الشكل 2-6: مبدأ عمل الحراق منخفض أكاسيد النيتروجين



المصدر: Ron, D., et al., 2015

الشكل 2-7: تقليب غازات الاحتراق لخفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين من الأفران



المصدر: Ron, D., et al., 2015

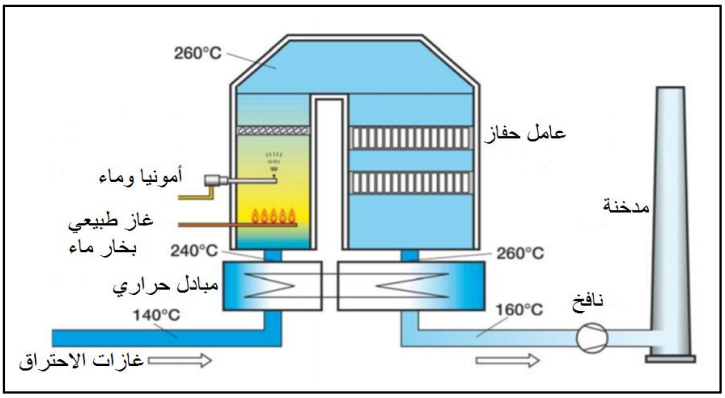
- **نزع النيتروجين من غازات المدخنة**

يمكن نزع أكاسيد النيتروجين من غازات مداخن الأفران بطريقتين، الأولى طريقة الخفض الانتقائي بدون عامل حفاز SNCR[1]، والثانية طريقة الخفض الانتقائي بالعامل الحفاز SCR[2]. إلا أن هذه التقنيات لا يمكن تطبيقها إلا في الوحدات الجديدة، لأنها تحتاج إلى مساحة واسعة لتركيب المعدات.

✓ **الخفض الانتقائي بالعامل الحفاز SCR**

تعتمد طريقة الخفض الانتقائي بالعامل الحفاز على مبدأ ملامسة غازات المدخنة بغاز الأمونيا في سرير يحتوي على عامل حفاز Catalyst Bed، حيث تتحول الأكاسيد إلى نيتروجين وبخار ماء. تتطلب هذه الطريقة ضبط كمية غاز الأمونيا في الغازات الداخلة إلى سرير العامل الحفاز، فعلى الرغم من أن زيادة كمية الأمونيا الداخلة إلى السرير يساهم في تحسين كفاءة التحويل إلا أن لها بعض المحاذير، حيث أن غاز الأمونيا غير المتفاعل المتبقي في غازات المدخنة يمكن أن يؤذي وحدات المعالجة اللاحقة، كما يمكن أن يسبب تشكيل الضباب الدخاني. يبين الشكل 2-8 عملية خفض النيتروجين بالعامل الحفاز من غازات المدخنة.

الشكل 2-8: عملية خفض النيتروجين بالعامل الحفاز من غازات المدخنة



المصدر: Heide, B.,2008

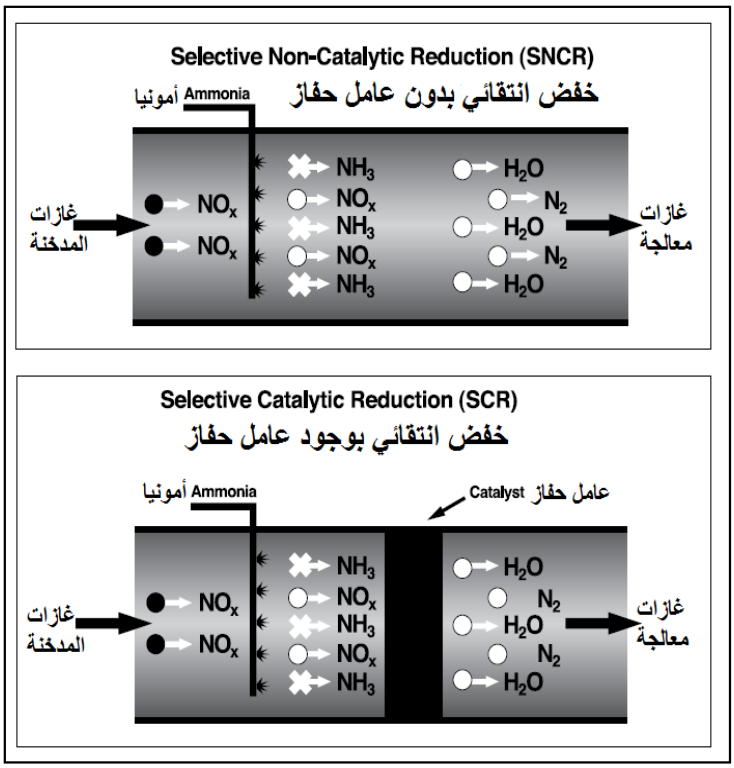
[1] Selective Non-Catalytic Reduction
[2] Selective Catalytic Reduction

✓ الخفض الانتقائي بدون عامل حفاز SNCR

تتم عملية الخفض الانتقائي لأكاسيد النيتروجين بدون عامل حفاز في الطور الغازي، وبدرجات حرارة عالية، إلا أن فعاليتها أدنى من طريقة الخفض الانتقائي بالعامل الحفاز. ويمكن تحسين فعالية هذه التقنية برفع معدل المزج بين الأمونيا أو اليوريا وبين غازات المدخنة.

على الرغم من ارتفاع تكاليف الإنشـــاء والتشـــغيل، تتميز طريقة الخفض الانتقائي بالعامل الحفاز SCR بكفاءتها العالية مقارنة بالطرق الأخرى التي لا تســـتخدم العامل الحفاز SNCR. يبين الشـــكل 2-9 مقارنة بين عمليتي الخفض الانتقـائي لأكـاســـيـد النيتروجين من غـازات المـدخنـة. (CleaverBrook, 2010)

الشكل 2-9: مقارنة بين عمليتي الخفض الانتقائي لأكاسيد النيتروجين من غازات المدخنة



المصدر: CleaverBrook, 2010

4-1-2: تقنيات خفض انبعاث الجسيمات الدقيقة

تختلف كمية انبعاثات الجسيمات الدقيقة باختلاف نوع الوقود المستخدم وتصميم الحراقات، وتركيز الأوكسجين عند مخرج منطقة الاحتراق، ودرجة حرارة غازات الاحتراق عند مخرج غرفة الإشعاع، وزمن بقاء قطرات الوقود في الفرن. يوجد عدة طرق لالتقاط الجسيمات الدقيقة الناتجة عن حرق الوقود في الأفران، أهمها اللواقط الميكانيكية، والمرشحات النسيجية، وكاشطات الغاز الرطب، والمرسبات الكهروستاتيكية. (IPEPC, 2012)

- **اللواقط الميكانيكية**

يعتمد مبدأ عمل اللواقط الميكانيكية Mechanical Collectors على فرق الكثافة بين الغاز والجسيمات الدقيقة، حيث أن الغاز يغير اتجاه جريانه بتأثير حركة الدوران السريعة بسرعة أعلى وسهولة أكثر من الجسيمات الدقيقة التي لها قوة عطالة أعلى. من مساوئ هذه الطريقة أن كفاءتها تنخفض كثيراً عندما تكون الجسيمات الدقيقة صغيرة الحجم، لذلك يقتصر استخدامها على الحالات التي يتم فيها فصل الجسيمات الكبيرة الحجم في المراحل الأولية التي تسبق عملية فصل الجسيمات الصغيرة.

- **المرشحات النسيجية**

تعتمد طريقة المرشحات النسيجية على تمرير غازات المدخنة عبر أكياس مصنوعة من نسيج خاص Fabric Bags. وتتميز هذه الطريقة بكفاءة عالية، إلا أن من مساوئها عدم إمكانية استخدامها في درجات حرارة مرتفعة، فضلاً عن مشكلة ارتفاع فرق الضغط عبر المرشحات مع الزمن، بتأثير تراكم الجسيمات الملتقطة على جدار نسيج المرشح. ويمكن التخفيف من مشكلة ارتفاع فرق الضغط بإجراء عمليات تبديل اتجاه جريان الغاز عبر المرشح.

- **كاشط الغاز الرطب**

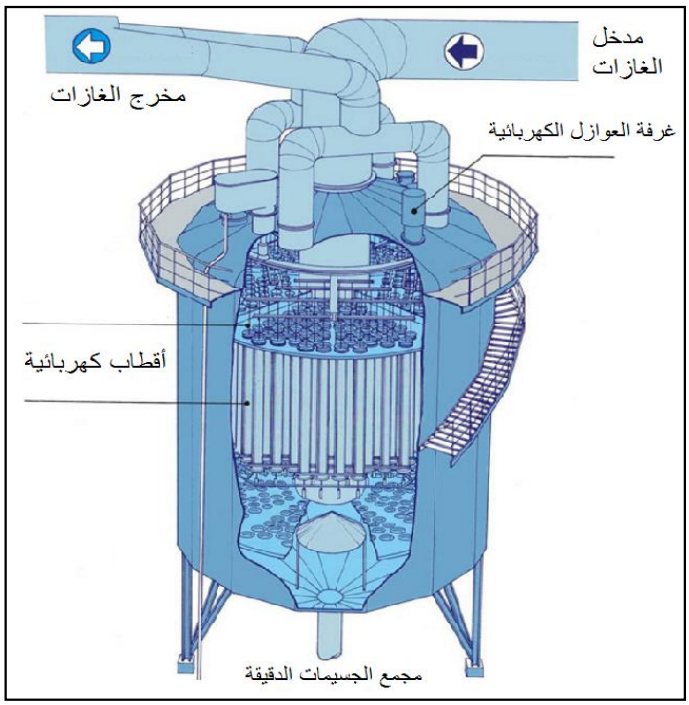
يعتمد مبدأ عمل كاشط الغاز الرطب على حقن رذاذ من الماء في تيار غازات

المدخنة، حيث تقوم قطرات الماء بالتقاط الجسيمات الدقيقة. تتميز هذه الطريقة بإمكانية استخدامها في درجات الحرارة المرتفعة، إلا أن من مساوئها أن المياه الملوثة الحاملة للجسيمات الدقيقة تحتاج إلى معالجة قبل التخلص منها.

- **المرسبات الكهروستاتيكية**

يعتمد مبدأ عمل المرسبات الكهروستاتيكية ESP[1] على شحن الجسيمات الدقيقة بالطاقة الكهربائية، ثم تمريرها عبر غرفة تحتوي على أقطاب كهربائية على شكل صفائح، تقوم بدور جذب الجسيمات بسبب فرق شحنتها. يتم كشط الجسيمات الملتصقة على الأقطاب بشكل دوري فتسقط إلى أسفل الغرفة لتسحب بواسطة عربة إلى خارج الوحدة. يبين الشكل 2-10 مخطط منظومة المرسبات الكهروستاتيكية من غازات مداخن الأفران.

الشكل 2-10: مخطط منظومة المرسبات الكهروستاتيكية



المصدر: Rameshni, M,. 2011

[1] Electrostatic Precipitators

2-2: تقنيات خفض انبعاثات وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع

تكتسب إجراءات خفض انبعاثات وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع في مصافي النفط أهمية خاصة نظراً لكميتها الكبيرة، وتأثيرها الشديد على صحة الإنسان والبيئة.

تتركز تقنيات خفض انبعاثات وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع في معالجة انبعاثات الناتجة عن تنشيط العامل الحفاز، والتي تتكون بشكل رئيسي من أكاسيد الكربون، وأكاسيد الكبريت، وأكاسيد النيتروجين، والجسيمات الدقيقة.

- **خفض أكاسيد النيتروجين من وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع**

تتشكل أكاسيد النيتروجين في وعاء التنشيط عندما يتحد كل من النيتروجين وأوكسجين الهواء عند درجات حرارة مرتفعة فينتج أكاسيد النيتروجين الحرارية. كما تتشكل أكاسيد النيتروجين عندما يحترق النيتروجين العنصري Elemental Nitrogen الموجود في الفحم المترسب على سطح العامل الحفاز، وتكون كميته عادة أعلى من كمية أكاسيد النيتروجين الحرارية، وتعتمد على محتوى لقيم الوحدة من المركبات النيتروجينية.

- **خفض أكاسيد الكبريت من وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع**

تعتمد كمية أكاسيد الكبريت SOx المنطلقة من انبعاثات عمليات تنشيط العامل الحفاز في وحدة التكسير بالعامل الحفاز أيضاً على تركيز الكبريت في الفحم المترسب على سطح العامل الحفاز. وتتم العملية بحقن مواد كيماوية تقوم بتحويل المركبات الكبريتية في وعاء التنشيط إلى غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S، حيث يمكن معالجته مع الغازات المنتجة من الوحدة. وتعتمد فعالية هذه الطريقة على نسبة الإضافة. وهي طريقة غير مكلفة، حيث أنها لا تتطلب إنشاء معدات جديدة سوى مضخة الحقن. إلا أن هذه التقنية نادراً ما تستخدم حيث أن كمية أكاسيد الكبريت المنزوعة تحتاج إلى معالجة أخرى قبل التخلص منها بشكل آمن، فضلاً عن أنها قد تؤدي إلى حدوث اختناقات في

وحدات معالجة كبريتيد الهيدروجين في المصفاة، عند عدم توفر طاقة فائضة للوحدة. (IPIECA, 2012)

- **تقنيات خفض انبعاث الجسيمات الدقيقة من وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع**

تتكون الجسيمات الدقيقة الناتجة عن وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع من جسيمات أولية وأخرى ثانوية. تنتج الجسيمات الدقيقة الأولية من مصدرين، الأول من تنشيط العامل الحفاز، والثاني من السخام الناتج عن الاحتراق الناقص للفحم. أما الجسيمات الدقيقة الثانوية فتنتج من ذرات الأمونيا وأكاسيد الكبريت. كما تختلف كمية الجسيمات الدقيقة المنبعثة تبعاً لنوع العامل الحفاز، ونوع اللقيم، وظروف التشغيل. ولتحسين كفاءة عمليات التقاط الجسيمات الدقيقة في وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع تتبع الطرق التالية:

- ✓ معالجة لقيم وحدة التكسير بالعامل الحفاز لتخليصه من بعض المعادن والشوائب الأخرى قبل إدخاله إلى الوحدة.
- ✓ اختيار عامل حفاز من النوع المقاوم للتفتت.
- ✓ تركيب لواقط ميكانيكية أو كهروستاتيكية، أو نظام غسيل الغازات بطريقة كاشط الغاز الرطب.
- ✓ تركيب مراحل متعددة على التسلسل من لواقط الجسيمات الدقيقة حتى الوصول إلى درجة الخفض المطلوبة.

تعتبر عملية اختيار التقنيات الأنسب لخفض انبعاثات وحدات التكسير بالعامل الحفاز من العمليات المعقدة. وحيث أن كل تقنية من هذه التقنيات تستخدم لمعالجة نوع واحد من الانبعاثات، لذلك يمكن اختيار أكثر من تقنية لخفض عدة أنواع من الانبعاثات في آن واحد، وذلك لخفض تكاليف رأس المال اللازم لإنشاء المعدات.

أحد الخيارات الممكنة لدمج تقنيتين في آن واحد هو تطبيق كل من تقنية كاشط الغاز الرطب WGS[1] التي تستخدم لخفض انبعاثات كل من الجسيمات الدقيقة وأكاسيد الكبريت، وتقنية حقن المواد الكيميائية لخفض أكاسيد النيتروجين. الخيار الآخر هو استخدام المرسبات الكهروستاتيكية ESP[2] لخفض الجسيمات الدقيقة مع تقنية إضافة المواد الكيميائية لخفض أكاسيد النيتروجين. وفي الحالات التي يطلب فيها كفاءة خفض عالية لأكاسيد النيتروجين يمكن استخدام تقنيتي الخفض الانتقائي بالعامل الحفاز SCR والخفض الانتقائي بدون عامل حفاز SNCR. يبين الجدول 2-2 خيارات خفض انبعاثات وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع.

الجدول 2-2: خيارات خفض انبعاثات وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع

الانبعاثات	خيارات خفض الانبعاثات							
	المرشحات الميكانيكية	مرشحات نسيجية	مرسبات كهروستاتيكية	كواشط الغاز الرطب	معالجة الثقيم	إضافة مواد كيماوية	خفض انتقائي بالعامل الحفاز	خفض انتقائي بدون عامل حفاز
جسيمات دقيقة	√	√	√	√	-	-	-	-
أكاسيد الكبريت	-	-	-	√	√	√	-	-
أكاسيد النيتروجين	-	-	-	√	√	√	√	√

2-3: تقنيات خفض انبعاثات وحدات استرجاع الكبريت

تنتج الغازات الغنية بغاز كبريتيد الهيدروجين H_2S من الوحدات التحويلية ووحدات المعالجة الهيدروجينية ، ويتم فصل غاز كبريتيد الهيدروجين من هذه

[1] Wet Gas Scrubber
[2] Electrostatic Precipitator

الغازات وتركيزه في وحدة الغسيل بمحلول الأمين، ثم يحول بعد ذلك إلى وحدة استرجاع الكبريت SRU[1] حيث يتم تحويله إلى كبريت حر.

تبلغ نسبة تحويل غاز كبريتيد الهيدروجين إلى كبريت حر في وحدة استرجاع الكبريت ضمن المجال 94-96%، والباقي ينطلق مع غاز المدخنة Tail Gas، حيث تطبق عليه عملية غسيل لاسترجاع جزء من غاز H_2S والجزء المتبقي يؤخذ إلى فرن إتلاف Incinerator. وتعتمد كمية انبعاثات SO_2 وH_2S من مدخنة فرن الإتلاف على مردود تفاعل كلاوس Claus ومدى ضبط شروط عمل الوحدة، لهذا يجب التركيز على تحسين مردود استرجاع الكبريت في الوحدة حتى يتم خفض كمية انبعاث SO_2، وذلك من خلال الإجراءات التالية:

- إضافة مفاعل ثالث إلى الوحدة، لرفع مردود التفاعل ليصل إلى 98-99.99%.
- إضافة وحدة غسيل للغازات الفائضة عن التفاعل، الخارجة من مفاعل كلاوس.
- استخدام عوامل حفازة متطورة في مفاعل كلاوس يمكن بواسطتها تحسين كفاءة التفاعل.

4-2: تقنيات خفض انبعاثات شبكات خطوط الأنابيب والمعدات

تحتوي مصفاة النفط على مئات الآلاف من مكونات شبكات خطوط الأنابيب، كالصمامات، وتوصيلات الأنابيب، والمضخات، والضواغط. وكل قطعة من هذه المكونات معرضة لاحتمال حدوث تسرب للسائل الجاري فيها من أماكن الوصل إلى الهواء الجوي.

وعلى الرغم من أن كمية المواد المتسربة في كل قطعة من مكونات شبكة خطوط الأنابيب في معظم الحالات قليلة جداً، وقد لا يتجاوز تركيزها عند مصدر التسرب أكثر من بضعة أجزاء من المليون، إلا أن العدد الكبير لهذه المكونات في

[1] Sulphur Recovery Unit

المصفاة يجعل من هذه الانبعاثات أحد أكبر مصادر انبعاثات المواد الهيدروكربونية، حيث يمكن أن تصل نسبتها إلى 80% من إجمالي انبعاثات المواد الهيدروكربونية في المصفاة. وبما أنه لا يمكن رؤية تسربات المواد الهيدروكربونية من خطوط الأنابيب بالعين المجردة في معظم الحالات، لذلك تستخدم أجهزة حساسة لقياس تركيز المواد المتسربة في الهواء المحيط بمكان التسرب. وتعتمد كمية الانبعاثات المتسربة من خطوط أنابيب ومعدات المصفاة على عوامل عديدة، أهمها:

- ✓ عمر ومواصفات المعادن المستخدمة في إنشاء المعدات وموانع التسرب.
- ✓ مواصفات المواد الجارية في المعدات، فكلما كان الضغط البخاري للمادة الموجودة داخل الأنبوب عالياً ازداد احتمال التسرب.
- ✓ تصميم المعدات، وظروف تشغيلها، من درجة حرارة وضغط.
- ✓ عدد المعدات وحجمها في المصفاة.
- ✓ مدى نجاح تطبيق تقنيات الفحص الفني، وبرامج الصيانة في المصفاة.

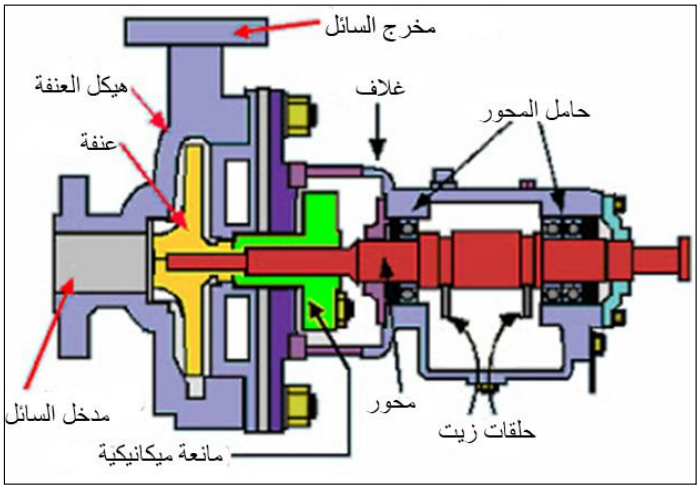
تصنف تقنيات خفض الانبعاثات المتسربة من منظومة شبكات الأنابيب والمعدات في ثلاث مجموعات: الأولى تحسين جودة المعادن والمواد المصنوعة منها أجهزة منع التسرب، والثانية استخدام موانع تسرب مضاعفة، والثالثة تطبيق برنامج الكشف عن التسرب وإصلاحه. وهناك إجراءات مشتركة بين المجموعات الثلاث، مثل استخدام تصاميم أفضل لشبكات خطوط الأنابيب وموانع التسرب. ويمكن الحصول على أفضل النتائج عند تطبيق أكثر من تقنية في نفس الموقع. وفيما يلي أهم تقنيات خفض انبعاثات المواد الهيدروكربونية المتسربة:

- **تحسين جودة موانع التسرب**

تستخدم عادة مانعة التسرب لمنع هروب المواد الهيدروكربونية الموجودة داخل المضخات والصواغط والصمامات إلى الهواء الجوي عبر محور تدوير العنفة، أو ساعد فتح وإغلاق الصمام. وعندما تكون المواد المصنعة منها المانعة رديئة تتعرض

سـطوح الإحكام إلى الاهتراء والتآكل فتتسـرب منها المواد الهيدروكربونية. ولخفض كمية تسـرب المواد إلى الحد الأدنى تسـتخدم أجهزة مانعة للتسـرب عالية الجودة. يبين الشكل 2-11 مانعة تسرب ميكانيكية لمحور مضخة.

الشكل 2-11: مانعة تسرب ميكانيكية لمحور مضخة



المصدر: Ergil, 2016

- **استخدام موانع تسرب مضاعفة**

تسـتخدم عادة مانعة تسـرب وحيدة الطبقة على محور المضـخة أو الضـاغط أو محور دوران ذراع فتح وإغلاق الصـمام، وغالباً ما تفي بالغرض المطلوب في خفض كمية المواد الهيدروكربونية المتسـربة عبر محور الدوران، إلا أن اسـتخدام موانع تسرب مضاعفة يعطي نتائج أفضل.

- **تعديل التصاميم الهندسية للمعدات**

يمكن خفض احتمـالات حدوث تسـرب المواد الهيدروكربونيـة من مكونـات شبكات خطوط الأنابيب والمضـخات والضـواغط من خلال الأخذ بعين الاعتبار بعض القضـايا الهامة أثناء عملية تصـميم الوحدات الجديدة، أو دراسـة إمكانية تعديل تصـميم الوحدات القائمة، منها:

- ✓ الإقلال ما أمكن من نقاط الوصل.
- ✓ اختيار صمامات ذات نوعية جيدة، سواء من حيث التصميم، أو من حيث نوعية المعدن، أو نوع الحشوة المانعة للتسرب المركبة على الذراع المتحرك للصمام.
- ✓ اختيار موانع تسرب لمحاور المضخات والضواغط مصنعة من مواد عالية الجودة.
- ✓ تزويد المضخات بأحواض تجميع للمواد المتسربة، بحيث يمكن تخزينها وإعادة استخدامها.
- ✓ التركيز على مراقبة النقاط التي يرتفع فيها احتمال حدوث التسرب.

- **تطبيق برنامج كشف التسرب وإصلاحه**

على الرغم من الفوائد التي يمكن الحصول عليها من استخدام موانع تسرب ذات جودة عالية، للحد من انبعاثات المواد الهيدروكربونية من مكونات شبكات خطوط الأنابيب والأوعية، إلا أن احتمال حدوث التسرب يبقى قائماً، وقد يحدث بشكل عشوائي، كما يصعب التنبؤ بموعد حدوثه. لهذا يعتبر برنامج كشف التسرب وإصلاحه Leak Detection and Repair (LDAR) أحد أفضل وسائل خفض الانبعاثات الهيدروكربونات المتسربة من الأوعية والخطوط والصمامات، حيث يعتمد على إجراء مسح دوري للمواقع التي تحتوي على معدات يحتمل حدوث تسرب للمواد الهيدروكربونية فيها، وتحديد الأعطال لإجراء الإصلاحات اللازمة. وتختلف المدة الزمنية الفاصلة بين عمليتي المسح الدوري للمعدات تبعاً لنوع المواد البترولية الموجودة في المكونات.

يجب إدراج معظم المعدات في برنامج الكشف عن التسربات وإصلاحها، مع توجيه الاهتمام أكثر نحو المعدات التي يجري فيها مشتقات خفيفة كالغازولين والنافثا والغاز، حيث أن المركبات الثقيلة مثل الكيروسين

والأثقل يكون احتمال التسرب فيها أقل، وبالتالي يمكن تخفيض عدد نقاط المراقبة فيها. كما يمكن تركيب أجهزة مراقبة دائمة في المواقع الخطرة، وعندما تؤشر الأجهزة إلى ارتفاع درجة التسرب عن القيمة التي تسمح بها التشريعات البيئية يقوم فريق الصيانة بإجراء عمليات الإصلاح اللازمة.

يوجد طرق عديدة للكشف عن تسربات شبكات الأنابيب والمضخات والصواغط، منها ما يعتمد على فحص كل نقطة من النقاط باستخدام أجهزة قياس تركيز المواد الهيدروكربونية، أو باستخدام منظار يصور التسربات الغازية عن بعد، وهي طريقة أسرع وأقل كلفة من طريقة قياس تركيز الغازات عند مكونات الخطوط. يبين الشكل 2-12 طريقة كشف التسربات الغازية باستخدام منظار عن بعد. ويبين الشكل 2-13 فحص تركيز الهيدروكربونات المتسربة من نقاط تصفية خطوط الأنابيب.

الشكل 2-12: طريقة كشف التسربات الغازية باستخدام منظار عن بعد

الشكل 2-13: فحص تركيز الهيدروكربونات المتسربة من نقاط تصفية خطوط الأنابيب

المصدر: IPIECA, 2012

تعتمد كفاءة برنامج كشف التسرب وإصلاحه وتكاليف تطبيقه على عوامل عديدة، كحجم المصفاة، وعدد نقاط المراقبة، ومعدل تكرار عمليات القياس، وخبرة ومهارة العاملين، وسرعة الكشف عن التسرب، حيث ترتفع فرص إصلاح العطل كلما

كان الكشف مبكراً قبل أن يتفاقم التسرب ويتطور إلى الحد الذي يتطلب إيقاف الوحدة عن العمل. ويمكن تحسين كفاءة العملية بتطبيق بعض الإجراءات، أهمها:

- إجراء دورات تدريبية للفنيين في مواقع العمل.
- وضع معايير لمراحل تنفيذ عمليات إصلاح التسرب من المعدات، وطرق استبدال الحشوات المانعة للتسرب.
- تنفيذ برامج كشف ومراقبة مكثفة للمعدات الخطرة التي يكون فيها احتمال تسرب المواد الهيدروكربونية مرتفع.
- إعداد قاعدة بيانات برمجية Software Database لحفظ المعلومات المتعلقة بمصادر التسرب، ومكونات المواد داخل المعدات، والأوعية المحتمل حدوث التسرب منها، مع كافة البيانات اللازمة لعملية المراقبة، والتي تساعد على خفض احتمالات حدوث أخطاء بشرية في عملية حساب كمية الانبعاثات من كل مصدر.
- تركيب منظومة متطورة لتجميع الانبعاثات المتسربة من محاور المضخات والصواغط والصمامات بواسطة شبكة خاصة من الأنابيب، وتحويلها إلى الشعلة لحرقها.

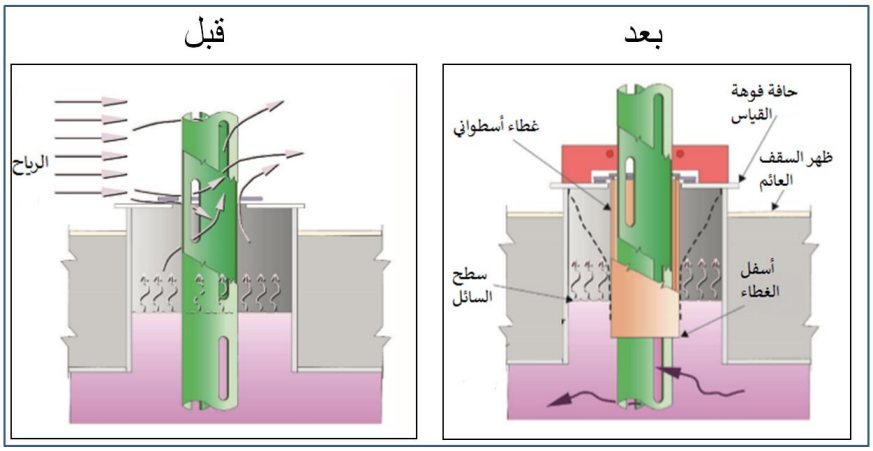
5-2: خفض انبعاثات خزانات النفط الخام والمنتجات النفطية

تتركز أهداف تقنيات خفض انبعاثات المركبات الهيدروكربونية من الخزانات في الحد من كمية الأبخرة الناتجة عن التبخر العادي بتأثير العوامل الجوية من الحواف الفاصلة بين جدار الخزان والسطح العائم، وأثناء عمليات التفريغ والتعبئة، والتي تمثل 80-90% من إجمالي الأبخرة المتسربة من الخزان. أما في بعض الحالات الطارئة التي تنتج عن اضطراب ظروف تشغيل الخزان، كحالة وصول السائل في خزان السقف العائم إلى مستوى أخفض من الحد المسموح، حيث يرتكز السقف العائم على دعائم فوق

أرضية الخزان لتفادي تحطم أجزائه الميكانيكية، فيدخل الهواء الجوي ليشغل الفراغ بين سطح السائل والسقف العائم، وتتجمع فيه الأبخرة الهيدروكربونية، وهذا يؤدي إلى انطلاق كميات أكبر من الأبخرة الهيدروكربونية إلى الهواء الجوي عند ارتفاع مستوى السائل ثانية. أما أهم التقنيات المتبعة لهذه الغاية فهي كما يلي: (Ergil, 2016)

- ✓ إجراء فحص فني دوري على كافة أجزاء وتوصيلات وفوهات القياس، وموانع التسرب المركبة على سقف الخزان، للتأكد من عدم وجود اهتراء يسبب تسرب الأبخرة إلى الهواء الجوي.
- ✓ تركيب أغطية مرنة مزودة بماسحات على فوهات قياس المستوى الموجودة على سطح الخزان، تمنع تسرب الأبخرة من الخزان إلى الهواء الجوي. يبين الشكل 2-14 نموذج غطاء فوهات قياس مستوى الخزان.

الشكل 2-14: نموذج غطاء فوهات قياس مستوى الخزان

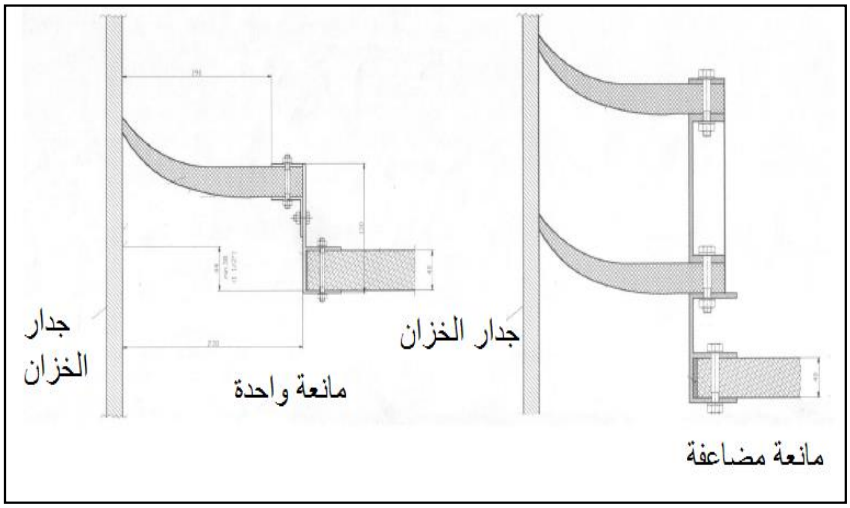


المصدر: Ergil, 2016

- ✓ تركيب موانع تسرب مضاعفة على السقف العائم لخفض تسرب الهيدروكربونات من جدار الخزان أثناء حركة السقف الناتجة عن عمليات التفريغ والتعبئة. يبين الشكل 2-15 موانع التسرب الواحدة والمضاعفة في خزان السقف العائم.

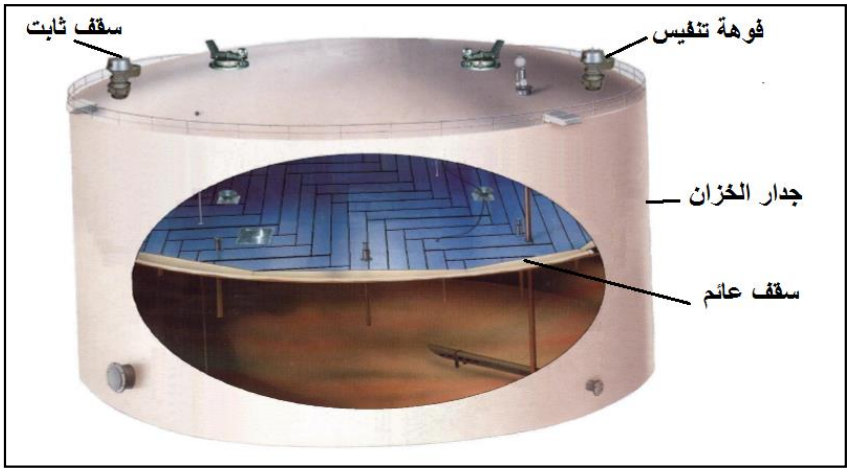
✓ تركيب سقف ثابت إضافة إلى السقف المتحرك في خزانات السطح العائم لتخفيف التبخر بتأثير حركة تفريغ وتعبئة الخزان. يبين الشكل 2-16 خزان غازولين بسقفين عائم وثابت.

الشكل 2-15: موانع التسرب الواحدة والمضاعفة في خزان السقف العائم



المصدر: Ergil, 2016

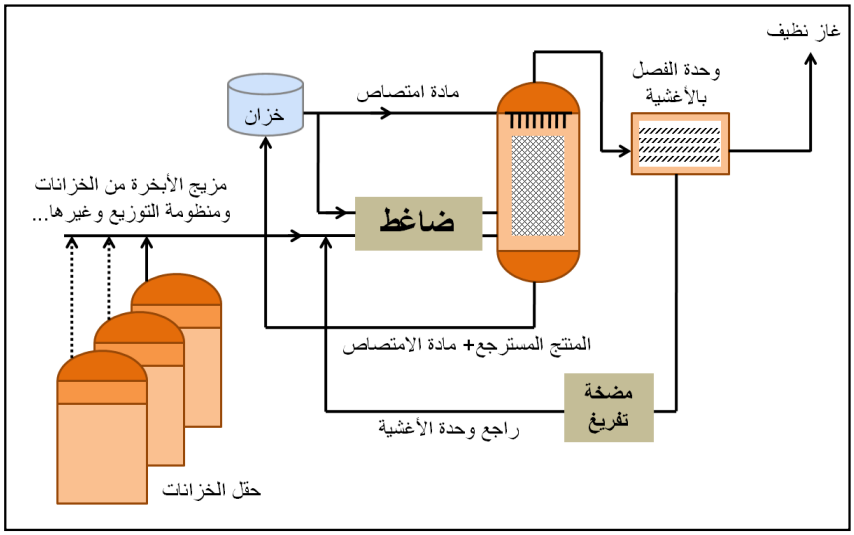
الشكل 2-16: خزان غازولين بسقفين عائم وثابت



المصدر: Ergil, 2016

✓ تحويل الأبخرة الهيدروكربونية التي تنطلق من الجزء العلوي لخزانات النفط والمنتجات عبر أنابيب خاصة إلى وحدة استرجاع الأبخرة. يبين الشكل 2-17 مخطط وحدة استرجاع أبخرة تخزين النفط والمنتجات النفطية.

الشكل 2-17: وحدة استرجاع أبخرة تخزين النفط والمنتجات النفطية



المصدر: Siemens AG, 2013

تتكون وحدة اســـترجاع أبخرة محطات تخزين المنتجات النفطية من مرحلتين، مرحلة فصل الهيدروكربونات عن الهواء، ومرحلة تحويل الهيدروكربونات إلى سائل. وتتم عملية فصـــل الهيدروكربونات عن الهواء في المرحلة الأولى بإحدى الطرق التالية:

- الامتزاز Adsorption بواسطة الكربون الفعال
- الغسيل بالزيت Lean Oil Washing
- الفصل بالأغشية الانتقائية Selective Membrane
- التكثيف بالتبريد أو الضغط

أما مرحلة تحويل الأبخرة الهيدروكربونية إلى ســـوائل فتتم بإحدى الطرق التالية:

- الامتصاص Absorption بواسطة الغازولين أو النفط الخام

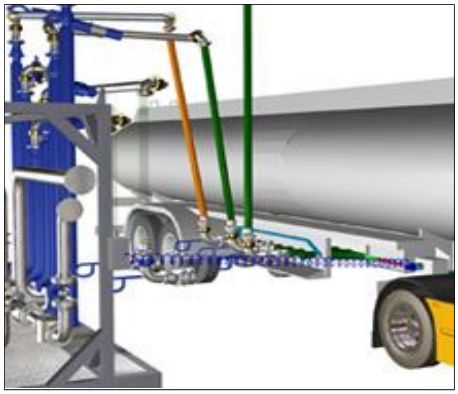
- التكثيف والتبريد
- الضغط

6-2: تقنيات خفض انبعاثات منظومة تحميل وتفريغ المنتجات

تنطلق المركبات الهيدروكربونية عبر فوهات التعبئة العلوية للناقلة أو حاوية النقل بالشاحنات البرية، أو القطارات أثناء عمليات التعبئة، وبشكل مشابه لانبعاثات خزانات المنتجات البترولية. ولخفض الانبعاثات المنطلقة من عمليات تحميل المنتجات البترولية وتعبئة الحاويات، تطبق التقنيات التالية:

- تركيب توصيلات تعبئة الحاوية من الأسفل لمنع انتشار الأبخرة الهيدروكربونية في الطبقة العلوية للحاوية أو الناقلة. يبين الشكل 2-18 نظام تعبئة حاويات المشتقات النفطية من الأسفل.

الشكل 2-18: نظام تعبئة حاويات المشتقات النفطية من الأسفل



- تركيب خط توازن بين الحاوية المراد تعبئتها والخزان الذي تسحب منه المواد البترولية للتعبئة، بهدف سحب الأبخرة إلى خزان تجميع مستقل لترحيلها إلى وحدة استرجاع الأبخرة الهيدروكربونية.
- تحويل الأبخرة الهيدروكربونية التي تنطلق من الجزء العلوي لحاويات نقل المشتقات النفطية عبر أنابيب خاصة إلى وحدة استرجاع الأبخرة.

7-2: تقنيات خفض الانبعاثات الهيدروكربونية من وحدة معالجة المياه الملوثة

تتكون وحدة معالجة المياه الملوثة في مصـــافي النفط من شـــبكة تجميع المياه الملوثة، ومنظومة المعالجة. تتوزع أجزاء شبكة التجميع في مناطق المصفاة كالوحدات الإنتـاجيـة، وحقول خزانـات النفط والمشـــتقـات البترولـيـة، وهي مجموعـة فوهـات تصريف، وتوصيلات، ومجاري، وفوهات تفتيش... وأينما تكون هذه الأجزاء مفتوحة إلى الهواء الجوي تنطلق منها الأبخرة الهيدروكربونية.

تنطلق الانبعـاثـات الهيدروكربونيـة من أجزاء ومكونـات وحـدة معـالجـة الميـاه الملوثة في المصـــفاة نتيجة تبخر المركبات الهيدروكربونية المرافقة للمياه في أماكن التمـاس بين طبقـات الزيـت مع الهواء، وفي الأمـاكن المفتوحـة من المنظومـة، حيـث تتبخر منها الهيدروكربونات إلى البيئة.

يمكن خفض انبعاث الأبخرة الهيدروكربونية من طبقة الزيت التي تطفو أعلى أحواض تجميع المياه الزيتية الواردة من الوحدات الانتاجية، ومن شبكة أنابيب تصفية خزانات النفط الخام والمشتقات، وذلك باتخاذ الإجراءات التالية:

- **إجراءات التخفيف من المصدر**

تهدف إجراءات التخفيف من المصدر إلى منع ورود المركبات الهيدروكربونية إلى وحدة معالجة المياه الملوثة، وهي الطريقة الأكثر فعالية لأنها تخفض من تكاليف التشغيل، وتمنع حدوث اضطراب في ظروف عمل الوحدة، أهم هذه الإجراءات:

- ✓ تركيب مصـــائد مائية على خطوط مجاري المياه الزيتية، وعلى فوهات تصفية الأوعية، واستعمال أغطية مانعة لتسرب الأبخرة على حفر التفتيش، ونقاط اتصال المجاري الزيتية.
- ✓ إجراء عمليات فحص دورية على أجزاء ومكونات شـــبكة تجميع المياه الملوثة، والعمل على إصلاح الأعطال أينما وجدت.

- ✓ إنشاء أماكن مغلقة لتجميع مياه غسيل المعدات، لمعالجتها وإعادة استخدامها بدلاً من طرحها إلى وحدة معالجة المياه الملوثة.
- ✓ إعادة استخدام بعض أنواع المياه الناتجة من عمليات التكرير في أماكن أخرى، كاستخدام المياه الناتجة من وعاء راجع أعلى برج تقطير النفط وحقنها في وعاء نزع الأملاح من النفط الخام.
- ✓ إنشاء أحواض أولية (حوض صدمة) لتجميع المياه الملوثة الواردة إلى وحدة المعالجة، وفحصها للتأكد من مطابقتها للمواصفات المحددة في تصميم الوحدة قبل إدخالها إلى أحواض فصل الزيت API Separator، وذلك تفادياً لحدوث اضطرابات في ظروف تشغيل الوحدة، قد ينتج عنها كميات كبيرة من الأبخرة الهيدروكربونية تنطلق إلى الهواء الجوي.

- **إجراءات تخفيف الانبعاثات داخل وحدة المعالجة**

وهي إجراءات تساهم في خفض فرص تماس المواد الهيدروكربونية مع الهواء في معدات وحدة معالجة المياه الملوثة، وأهمها:

- ✓ استخدام نظام أحواض فصل الزيت المغطاة Covered API Separator لعزل التأثيرات الجوية، يتكون من سقف ثابت يغطي حوض فصل الزيت عن المياه الواردة إلى وحدة المعالجة، ويزود بموانع تسرب بحيث يمكن تجميع الأبخرة الهيدروكربونية المنطلقة من سطح المياه في الحوض لتجميعها في خزانات خاصة لإعادة استخدامها أو حرقها.
- ✓ تركيب منظومة تجميع الأبخرة الهيدروكربونية لاسترجاعها وإعادة استخدامها كوقود في المصفاة.
- ✓ تركيب أغطية ثابتة فوق أحواض التعويم في مرحلة المعالجة البيولوجية التي تعتمد على حقن الهواء لتعزيز عملية فصل الزيوت عن المياه، DAF

أو IAF[1]. تســـاهم هذه الأغطية في منع انطلاق الأبخرة التي تتحرر من سطح الحوض إلى الهواء الجوي. ويجب اتخاذ إجراءات وقائية مشددة لمنع تشكل مزيج من الأبخرة الهيدروكربونية والهواء داخل الطبقة الفاصلة بين سطح المياه والغطاء الثابت، يمكن أن تشتعل ذاتيا وتسبب الانفجار.

8-2: تقنيات خفض انبعاثات حرق الغازات في الشعلة

التقنية الأكثر شـــيو عاً لإتلاف انبعاثات الأبخرة الهيدروكربونية هي طريقة الحرق في منظومة الشـعلة، باعتبارها الأقل كلفة. وعلى الرغم من فائدة عملية الحرق في الشـــعلة في خفض انبعاثات المركبات الهيدروكربونية إلى الهواء الجوي، إلا أنها في نفس الوقت تؤدي إلى تشـــكل انبعاثات أخرى ناتجة عن عملية الاحتراق، وبالتالي ينتج عنها انبعاثات أكاســيد الكربون COx، وأكاســيد النيتروجين NOx، وأكاســيد الكبريت SOx في حال وجود الكبريت في الغازات المحترقة.

تكتسب إجراءات خفض الانبعاثات الناتجة عن حرق المركبات الهيدروكربونية على شعلات المصفاة أهمية كبيرة، حيث تساهم في خفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين، وغاز ثاني أكسيد الكربون، وأكاسيد الكبريت، إضافة إلى الفوائد الاقتصادية الناتجة عن الاستفادة من هذه الهيدروكربونات كوقود في أفران المصفاة بدلاً من حرقها. ولتحقيق هذه الغاية تتوفر الخيارات التالية:

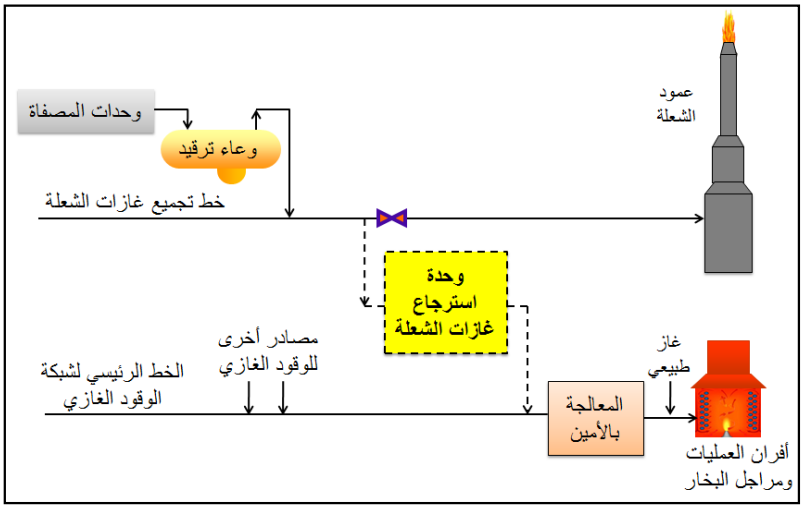
- ✓ إجراء صيانة دورية لكافة صمامات الأمان المتصلة بخطوط الشعلة للتأكد من عدم وجود تسرب من سطوح إحكامها.
- ✓ البحث عن مصادر الغازات الداخلة إلى الشعلة والعمل على خفض كمياتها.
- ✓ إجراء تقييم لكل نقطة من نقاط تنفيس أوعية عمليات التكرير، لتحديد جدوى توصـــيلها إلى خزان التجميع، ثم اختيار الطريقة الأنســـب للإتلاف، كتلك

[1] Dissolved Air Flotation or Induced Air Flotation

المستخدمة في تصريف الأبخرة الهيدروكربونية الناتجة عن محطات تحميل وتفريغ المنتجات البترولية. يذكر أن نقاط التنفيس تستخدم لتخفيض الضغط المتشكل في أوعية عمليات التكرير نتيجة تفاعلات كيميائية، وذلك من خلال تحرير الهيدروكربونات عبر أنبوب متصل بالوعاء بشكل مباشر إلى البيئة، يفتح يدوياً أو آلياً بواسطة صمام أمان، أو من خلال صمام تحكم يفتح عندما تصل قيمة الضغط إلى مستوى محدد.

✓ تركيب منظومة استرجاع لغازات الشعلة تساعد على إعادة الغازات إلى شبكة وقود أفران المصفاة للاستفادة منها كمصدر للطاقة بدلاً من حرقها. يبين الشكل 19-2 مخطط وحدة استرجاع غازات الشعلة.

الشكل 19-2: مخطط وحدة استرجاع غازات الشعلة



المصدر: Oden, H., 2010

على الرغم من الفائدة الاقتصادية التي يمكن الحصول عليها من وحدة استرجاع غازات الشعلة إلا أنها في بعض الحالات تكون غير مجدية اقتصادياً، حيث من الممكن أن يحتوي الغاز المسترجع على شوائب تمنع الاستفادة منه إلا بعد معالجته في عمليات معالجة مكلفة.

2-9: إدارة الروائح المنبعثة من المصفاة

تشكل انبعاثات المركبات العضوية الطيارة مصدراً للروائح الكريهة عند ارتفاع تركيزها عن قيم محددة، وتؤدي إلى إزعاج العاملين في المصفاة والقاطنين في التجمعات السكنية المجاورة. وأهم المركبات التي تصدر الروائح المزعجة في مصفاة النفط هي:

- المركبات الكبريتية، مثل كبريتيد الهيدروجين H_2S، والكبريتيدات Sulphides والثنائي كبريتيدات Disulphides
- المركبات النيتروجينية، مثل الأمونيا والأمينات.
- الهيدروكربونات مثل العطريات.

تعتمد شدة الإحساس بالروائح الكريهة في المناطق المحيطة بالمصفاة على العوامل التالية:

- عدد المركبات المنبعثة وتنوعها.
- عدد النقاط التي تصدر الانبعاثات وتوزعها الجغرافي، وبعدها عن التجمعات السكنية.
- حساسية الأشخاص وقدرتهم على التحمل فبعض الأشخاص لديهم حساسية أعلى من غيرهم لروائح بعض المركبات. يبين الجدول 2-3 القيم القصوى لتركيز انبعاثات الروائح المزعجة.

تتكون عملية معالجة مشكلة الروائح الكريهة المنبعثة من المصفاة من أربعة مراحل، تتضمن المرحلة الأولى تقويم المشكلة وإعداد المبررات والدوافع للقيام بإجراءات تساهم في التخفيف من آثارها. وفي المرحلة الثانية يتم تحديد المصادر المحتملة للمواد التي تسبب الروائح المزعجة. أما المرحلة الثالثة فيتم فيها تحليل المصادر المحتملة، وتحديد المصادر المؤكدة التي تسبب مشكلة انبعاث الروائح. وفي

المرحلة الأخيرة يتم اختيار التقنيات المناسبة لخفض الانبعاثات المسببة للروائح إلى القيم التي يبدأ عندها اكتشاف الروائح. (IPIPEC, 2012)

الجدول 2-3: القيم القصوى لتركيز انبعاثات الروائح المزعجة

الانبعاثات	التركيز (ج.ف.م)	حدود زمن التعرض (ج.ف.م)		وصف الرائحة
		8 ساعة/اليوم	فترات قصيرة 15 دقيقة	
أكريلونيتريل	1.6	2	10	ثوم/بصل
أمونيا	17	25	35	مخرش/لاذع
ثنائي كبريتيد الكربون	0.0081	1	10	كبريت
كلور	0.01	0.5	1	مبيض
ثنائي ميثيل أمين	0.34	5	15	سمك
ثنائي كلوريد الإيثلين	26	1	2	كلوروفورم
كبريتيد الهيدروجين	0.0005	10	15	بيض فاسد
ميثانول	100	200	250	حلو وحامض
ميثيل أمين	4.7	5	15	سمك
ميثيل إيثيل كيتون	10	200	300	حلو
نفثالين	0.027	10	15	قطران
ستايرين	0.047	50	100	حلو
ثاني أكسيد الكبريت	2.7	2	5	مخرش/لاذع
تولوين	2.8	100	150	حامض
ثلاثي كلور الإيثلين	82	50	100	إيثير

المصدر: IPIPEC, 2012

2-10: عوامل اختيار التقنية الأنسب لخفض انبعاثات مصافي النفط

تعتبر عملية اختيار التقنية الأنسب لخفض انبعاثات كل مصدر من المصادر الموجودة في المصفاة من العمليات المعقدة، نظراً لوجود عوامل عديدة تؤثر في عملية الاختيار، منها ما يتعلق بطبيعة الموقع الذي ستركب فيه التجهيزات الجديدة، ومنها ما يتعلق بتكاليف الإنشاء والتنفيذ، أو درجة التعقيد التكنولوجي، ولتسهيل عملية الاختيار تتبع الخطوات التالية:

- البحث عن كافة الخيارات المتاحة لتقنيات خفض الانبعاثات من كل مصدر من المصادر القائمة في المصفاة، وذلك من خلال الاتصال بالشركات الموردة، والاطلاع على تجارب الآخرين لمعرفة مزايا وسلبيات كل تقنية، والتعرف على حجم الاستثمارات اللازمة لإنشاء كل خيار وتكاليف التشغيل.
- تقييم مدى فعالية التقنيات المستخدمة في الوقت الراهن، ودراسة إمكانية تعديلها أو استبدالها.
- دراسة تكلفة خفض الطن الواحد من الانبعاثات من كل مصدر من المصادر باستخدام الخيارات المتاحة، وإجراء مقارنة بينها.
- دراسة العمر الافتراضي المتبقي لمعدات المصفاة، لتحديد جدوى تركيب التجهيزات الجديدة.
- تقييم الأثر البيئي لتطبيق كل خيار من الخيارات المتاحة، من حيث القضايا التي لا تتعلق بجودة الهواء الجوي، كزيادة استهلاك الطاقة نتيجة تركيب المعدات، أو توليد نفايات أخرى تنشأ عن تطبيق نوع من التقنيات الجديدة.

الفصل الثالث

برنامج إدارة انبعاثات مصافي النفط

3-1: الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط

3-1-1: عناصر الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات المصافي
3-1-2: عوامل نجاح خطة إدارة انبعاثات المصافي

3-2: قائمة جرد انبعاثات المصافي

3-2-1: مراحل إعداد قائمة جرد الانبعاثات
3-2-2: تدقيق بيانات قائمة جرد الانبعاثات
3-2-3: عوامل نجاح إعداد قائمة جرد الانبعاثات

3-3: طرق حساب كمية الانبعاثات

3-3-1: حساب الانبعاثات المتسربة من عمليات التكرير
3-3-2: حساب انبعاثات خزانات النفط الخام والمنتجات
3-3-3: حساب انبعاثات محطات تحميل النفط الخام والمنتجات
3-3-4: حساب انبعاثات وحدات معالجة المياه الملوثة
3-3-5: حساب كمية الانبعاثات أبراج مياه التبريد
3-3-6: حساب انبعاثات الحوادث الطارئة
3-3-7: حساب انبعاثات حرق الوقود في الأفران
3-3-8: حساب انبعاثات منظومة الشعلة

3-4: تشريعات ضبط انبعاثات مصافي النفط

3-4-1: مراحل عملية إصدار تشريعات ضبط الانبعاثات
3-4-2: تشريعات منح ترخيص إنشاء مصفاة جديدة

الفصل الثالث

برنامج إدارة انبعاثات مصافي النفط

مقـدمة

تعرف الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصـافي النفط بأنها الأداة المسـاعدة على إجراء تقييم شـامل للملوثات الضـارة التي تطلقها مصـفاة/أو مجموعة مصـافي موجودة في منطقـة جغرافيـة محـددة، وإعـداد بيـانـات تمكن الهيئـات الحكوميـة من إصـــدار التشريعات التي تلزم تلك المصافي باتخاذ الإجراءات اللازمة لخفض انبعاثاتها الغازية إلى مستويات محددة، وتحديد برامج وخطط مراقبة أدائها للتأكد من التزامها بمتطلبات التشريعات البيئية.

يتناول هذا الفصل مراحل إعداد الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصـافي النفط، والفوائد التي يمكن تحقيقها، والعوامل المســـاعدة على نجاحها في تحقيق الأهداف المرجوة من تطبيقها.

كما يتضمن هذه الفصل شرحاً لمكونات وأهداف إعداد قائمة جرد الانبعاثات، وطرق حساب كمية الانبعاثات من كل مصدر من المصادر الرئيسية في مصافي النفط.

3-1: الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط

تتلخص أهداف الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط بما يلي:

- تحضير البيانات والمعلومات التي تمكن الهيئات الحكومية المشرفة على سلامة البيئة ومكافحة التلوث من إصدار التشريعات البيئية التي تلزم المصـافي باتخاذ إجراءات تخفيض الانبعاثات الناتجة عن عملياتها.
- العمل على تحقيق خفض فعلي للانبعاثات، يساهم في تحسين جودة الهواء محليا

وإقليميا، واتخاذ الإجراءات التي تضمن المراقبة المستمرة لأداء المصافي، وتقييم التزامها بمتطلبات التشريعات البيئية.

- الارتقاء بالأداء البيئي لمصافي النفط في المنطقة إلى أفضل المستويات القياسية المحلية والعالمية.

3-1-1: عناصر الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات المصافي

تتكون الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط من أربعة عناصر رئيسية، هي كما يلي. يبين الشكل 3-1 عناصر الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط. (CCME, 2005)

- تقييم الوضع القائم للمصافي.
- تحضير خطة لمراقبة الانبعاثات، وإعداد التقارير الدورية.
- إعداد خطة مستقبلية لإجراءات الخفض المستمر لانبعاثات مصافي النفط.
- الإشراف الحكومي على عملية المراقبة المستمرة للانبعاثات.

الشكل 3-1: عناصر الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط

يتولى الإشـــراف على إعداد ومتابعة تنفيذ الخطة الوطنية لانبعاثات مصـــافي النفط لجنة رئيســية يتفرع عنها عدة لجان متخصــصــة، يمثل فيها أعضــاء من كافة الجهات والهيئات الحكومية ذات العلاقة. ولكي يتمكن الفريق من تحقيق أهدافه يجب أن يأخذ بالاعتبار العوامل الأساسية التالية:

- الالتزام بتحديد المدة الزمنية التي تمنح للمصـــافي لكي تتخذ الإجراءات التي تمكنها من ضبط الحدود القصوى المسموحة للانبعاثات التي تطلقها إلى البيئة.
- اتباع الأساليب المرنة في ضبط الحدود القصوى للانبعاثات، دون أن يؤثر ذلك على النتائج النهائية لخطة خفض الانبعاثات.
- دعوة كافة الأطراف المهتمة بالعملية للمشاركة في اتخاذ القرار.
- الالتزام بإعداد التقارير الدورية في موعدها المحدد، والحرص على المحافظة على التحسين المستمر لنظام الإدارة البيئية.
- تحديد الجهات الفنية والاستشارية التي ستساعد في إعداد وتنفيذ الخطة.
- تحديد قائمة بالمصافي التي ستتناولها الخطة مع كافة البيانات المتعلقة بها.
- تحديد نوع ومصادر الانبعاثات التي ستتناولها الخطة بالقياس في كل مصفاة.

العنصر الأول: تقييم الوضع القائم

تســاهم عملية تقييم الوضــع القائم لمصــفاة النفط في تحديد مصــادر الانبعاثات، وتحديد مســتوياتها مقارنة بمتطلبات التشــريعات والمعايير المحلية والعالمية، وبالتالي يمكن إعداد البيانات والمعلومات التي تســـاعد الهيئة الحكومية على تحديد المعدلات الســـنوية القصـــوى للانبعاثات التي تطرحها المصـــافي إلى الهواء الجوي، وترتيب أولويات إصدار التشريعات الخاصة بإلزام المصافي بهذه الحدود حسب الأهمية وحجم الضرر الذي يسببه كل نوع من الانبعاثات على الصحة العامة. ويجب أن تشتمل عملية تقييم الوضع القائم للمصافي على الإجراءات التالية:

- **إعداد قاعدة بيانات بالوضع القائم**

يجب أن تتضـمن قاعدة البيانات كافة المعلومات المتوفرة عن الظروف الحالية للمصـافي، والتي تسـاعد الجهة الحكومية على اتخاذ القرارات المناسـبة. ومن الأمثلة على هذه البيانات ما يلي: (EMEP/EEA, 2016)

- ✓ نوع ومصـادر الانبعاثات التي تطلقها كل مصـفاة من المصـافي المشـمولة بالدراسة، ومقارنتها بالقيم المقابلة لها في المصافي النموذجية في العالم.
- ✓ العوامل المؤثرة في معدل الانبعاثات التي تطرحها المصافي إلى البيئة.
- ✓ تصـنيف المصـافي المراد دراسـتها تبعاً لطاقتها التكريرية، أو نوع عملياتها الإنتاجية، أو نوع النفط الخام المكرر.
- ✓ تحديد طرق مقارنة مسـتويات الانبعاثات بالمسـتويات النموذجية، مع الأخذ بعين الاعتبار العوامل المؤثرة في كمية الانبعاثات، كحجم الطاقة التكريرية للمصـفاة، ونوع النفط الخام المكرر، وجودة مواصـفات المنتجات، وطريقة تشـغيل الوحدات، ونوع ومواصـفات الوقود المسـتخدم في أفران عمليات التكرير ومحطات إنتاج بخار الماء والكهرباء، ومدى وجود أجهزة التحكم بالانبعاثات.

- **تقييم انعكاسات انبعاثات المصافي على صحة الإنسان والبيئة**

تهـدف هـذه الخطـوة إلـى دراسـة الانعكاسـات السـلبية للانبعاثـات التـي تطرحهـا المصـافي علـى صـحة الإنسـان والبيئـة، وتجميـع كافـة البيانـات والمعلومـات التـي تسـاعد الجهـة الحكوميـة علـى اتخـاذ القـرار حـول أولويـة الإجـراءات التـي يجـب أن تتخـذها المصـافي لخفـض الانبعاثـات، وتحديـد القـيم القصـوى السـنوية المسـموحة لكميـة الانبعاثـات التـي تطرحهـا، تبعـاً لحجـم الضرر الذي يحدثه كل نوع من أنواع تلك الانبعاثات.

- **إعداد دليل توضيحي**

بعد الانتهاء من إعداد البيانات المتعلقة بالمصافي ومستوى أدائها، ونتائج تحليل انعكاسات الملوثات على الصحة العامة، يتم تجميع كافة المعلومات في ملف يسمى الدليل التوضيحي لتقديمه إلى الجهة الحكومية، بهدف مساعدتها في تنفيذ عملية الإشراف على مستوى أداء المصافي، والتأكد من التزامها بالخطة المطلوبة. كما يتضمن هذا الدليل عرضاً لأهم القضايا المحلية التي يجب أخذها بعين الاعتبار، أهمها:

- ✓ الدراسات السابقة التي أجريت حول تقييم أخطار الانبعاثات على الصحة العامة، وأي دراسات حول الواقع الصحي للسكان المحليين.
- ✓ القيم المقاسة لمواصفات جودة الهواء عند مستوى سطح الأرض في المنطقة، مثل مستوى الأوزون، والدخان الضبابي، والجسيمات الدقيقة.
- ✓ مصادر الانبعاثات في المناطق المجاورة.
- ✓ الملوثات المنقولة من مناطق أخرى إلى المنطقة المجاورة للمصافي المشمولة بالخطة.
- ✓ بيانات مراقبة الهواء والظروف المناخية.
- ✓ مبادرات تخفيض الانبعاثات الجاري تنفيذها أو المخطط تنفيذها في المنطقة.
- ✓ بيانات وملاحظات أخرى يراها فريق العمل مفيدة.

العنصر الثاني: خطة المراقبة وإعداد التقارير

الغاية من هذا العنصر هي تحديد التقنيات والطرق التي ستستخدمها المصافي في عملية مراقبة الانبعاثات بالشكل الذي يمكن الهيئات الحكومية من مراقبة الأداء البيئي للمصافي، والتأكد من الالتزام بالحدود القصوى المحددة لكمية الانبعاثات التي تطلقها على مدار العام. تتضمن خطة مراقبة الانبعاثات وإعداد التقارير مجموعة من الفعاليات أهمها: (Goodwin, J. & Pulles, T., 2009)

- تحديد الطرق التي ستتبع في مراقبة مصادر انبعاثات المصفاة، إما بالقياس المباشر أو بالعمليات الحسابية.
- تحديد محتويات ومواعيد تسليم التقارير الدورية المتعلقة بمعدلات الانبعاثات التي تطرحها المصفاة، وتغيراتها.
- تحديد متطلبات تنسيق وحفظ التقارير المتعلقة بمراقبة الانبعاثات للعودة إليها عند الضرورة.
- تحديد إجراءات التأكد من جودة البيانات.
- إعداد خطة مراقبة جودة الهواء، ومراحل إعداد التقارير الدورية التي تشير إلى حدوث التغيرات الطارئة.

يقوم فريق العمل بإعداد خطة مراقبة الانبعاثات ورصد تغيراتها اعتماداً على الطرق التي تستخدم عادة لحساب كمية الانبعاثات التي تنطلق من مصادر أو مجموعة مصادر في المصفاة، وذلك من خلال إجراء العمليات التالية:

- إعداد قائمة تتضمن كافة مصادر الانبعاثات، بحيث تغطي كافة أجزاء المصفاة، وأي استثناء يجب أن يذكر بوضوح مع تقديم المبررات.
- تحديد إجمالي الانبعاثات الفعلية السنوية بالقياس أو بالحساب، بما في ذلك الانبعاثات التي تطلقها المصفاة في كافة الحالات التشغيلية، الطبيعية وغير الطبيعية أو الطارئة، مثل بداية إقلاع الوحدات، واضطراب ظروف التشغيل، وعمليات الصيانة الدورية.
- إعداد قائمة بالطرق التي ستتبع في مراقبة مصادر الانبعاثات، وحساب إجمالي كمية الانبعاثات السنوية.
- العمل على توفير إمكانية الاطلاع على الطرق المبتكرة لعمليات قياس ومراقبة الانبعاثات، ومحاولة الاستفادة منها وتطبيقها.

- الطلب من كل مصفاة تقديم مسودة اقتراح خطة عملية المراقبة، وإعداد التقارير للحصول على موافقة الجهة الحكومية، بحيث تتضمن هذه الخطة كافة المعلومات التفصيلية المتعلقة بطريقة تنفيذ العمل، وخطوات التأكد من صحة معاملات الانبعاث Emission Factors، أو أي معلومات أخرى إضافية بحاجة إلى موافقة الجهة الحكومية عليها.

تساهم عملية إعداد التقارير الدورية في مساعدة الجهات الحكومية، ومشاركة الجمهور في التأكد من التزام المصافي بتنفيذ خطة التخفيض المرسومة. وتتضمن هذه التقارير بيانات تفصيلية حول كمية ومصادر الانبعاثات والتغيرات التي طرأت عليها. ولكي تكون هذه التقارير سهلة المراجعة والتقييم، يجب أن تراعى في إعدادها الشروط التالية: (ECE, 2014)

- إصدار التقارير السنوية لكافة انبعاثات المصفاة من جهة واحدة، وعرضها على لجان تدقيق الجودة بشكل دوري قبل رفعها إلى الجهات الحكومية.
- التزام كل مصفاة بأن تضمن تقريرها المعدل الإجمالي السنوي لكل نوع من أنواع الملوثات التي تنطلق من كافة المصادر المحتملة في المصفاة.
- الالتزام بتوضيح الطرق المستخدمة في حساب كمية الانبعاثات من كافة المصادر.
- تضمين التقارير بعض البيانات التوضيحية الهامة، وأسماء الأشخاص المسؤولين عن إعداد التقارير، وأي معلومات أخرى مفيدة.
- تأمين إمكانية عرض البيانات والمعلومات بنسخ الكترونية وورقية، أو أية طريقة تساعد على نشرها وتوصيلها بسهولة.

يعتمد نجاح خطة مراقبة الانبعاثات على عوامل عديدة، أهمها:

- الدقة في تحديد المناطق التي تتأثر بانبعاثات المصفاة.

- تضمين كافة المصادر المحتملة في المصفاة في عملية حساب كمية الانبعاثات، وفي حال وجود استثناءات يجب ذكرها مع المبررات.
- الوضـوح في تحديد طرق قياس كمية الانبعاثات بالشـكل الذي يسـمح بإجراء المقارنة بين المصـافي، أو بين كمية الانبعاثات خلال فترات زمنية مختلفة لكل مصفاة.
- توخي الدقة في تقدير وحسـاب كمية الانبعاثات، والإشـارة إلى مقدار الارتياب في تقدير الكميات المقدمة.

كما يطلب من كل مصـفاة أن تتخذ إجراءات حفظ السـجلات المتعلقة بخطة تخفيض الانبعاثات، بهدف العودة إليها ومراجعتها مسـتقبلا من قبل الجهات الحكومية. وتتضمن هذه السجلات الأجزاء الرئيسية التالية: (BAAQMD, 2015)

- قائمة مصادر الملوثات التي تطلقها المصفاة.
- المعدل السنوي للانبعاثات التي تنطلق من كل مصدر، وإجمالي الانبعاثات التي تطلقها المصفاة، مع شرح للطرق التي اتبعت في عملية الحساب.
- الطرق التي اسـتخدمت في تنفيذ عملية مراقبة الانبعاثات، وموافقة الجهة الحكومية عليها، مع ذكر الطرق البديلة، إضـافة إلى أسـس حسـاب كمية الانبعاثات من كل مصدر، وحالة ظروف التشغيل التي كانت سائدة أثناء إجراء الحساب، فيما إذا كانت عادية أو طارئة، أو أنها تمت أثناء تنفيذ أعمال الصيانة الدورية.
- آليات ضبط جودة البيانات الصادرة عن المصفاة.
- بيانات أخرى مفيدة.

العنصر الثالث: الخطة المستقبلية لخفض الانبعاثات

تهدف الخطة المستقبلية لخفض الانبعاثات إلى إعداد برنامج العمل الذي ستلتزم

به المصـافي لتحقيق خفض تدريجي لكمية انبعاثاتها السـنوية، خلال فترة زمنية قادمة يمكن أن تصل إلى عشر سنوات.

تتكون الخطة المستقبلية لخفض انبعاثات المصافي من مجموعة توصيات حول كيفية تجميع بيانات نتائج عملية المراقبة من قبل كل مصـفاة من المصـافي والجهات الحكومية المكلفة بمراقبة مسـتويات التلوث، إضـافة إلى تحديد آليات مراجعة التقارير الدورية، وذلك من خلال الوسائل التالية:

- **تحديد مؤشرات قياس الأداء** Performance Indicators، التي تساعد على قياس مدى التقدم في تخفيض مسـتويات الانبعاثات، وأن الأهداف المرسـومة للخطة يجري تحقيقها بالشكل المطلوب. ومن أهم هذه المؤشرات:
  - ✓ مقدار خفض كمية انبعاثات المصفاة مقارنة بالسنوات السابقة.
  - ✓ مدى الالتزام بالمعدل السـنوي الأقصـى المسـموح لكمية الانبعاثات التي تطلقها المصفاة.
  - ✓ مدى التقيد بمواعيد انجاز البيانات والتقارير المتعلقة بالانبعاثات.
  - ✓ دقة وجودة المعلومات والبيانات المتضـمنة في التقارير الدورية التي ترفع إلى الجهة الحكومية.
- **التحديث المسـتمر للتحليلات والأدوات** المرتبطة بالعناصـر الأسـاسـية للخطة الوطنية لخفض الانبعاثات، بما يتناسـب مع المسـتجدات التي تطرأ على المصافي، أو الانعكاسات الصحية التي تظهر في المناطق المجاورة.
- **تقديم التقارير الدورية**، التي تعبر عن مدى التقدم في تنفيذ خطة تخفيض انبعاثات المصافي، وتشتمل هذه التقارير على ما يلي:
  - ✓ نتائج عمليات المراقبة وفقاً لما جاء في خطة مراقبة الانبعاثات، وإعداد التقارير، متضمنة المعدلات السنوية للانبعاثات.

- ✓ معلومات تفصيلية حول البرامج والخطط والبيانات المتعلقة بالحدود القصوى لانبعاثات المصافي، أو المعدلات المستهدفة لقيم الانبعاثات السنوية التي تطرحها المصافي في مناطق مختلفة من العالم، والتي قد تساعد الهيئات الحكومية في اتخاذ القرارات المناسبة والصحيحة.
- ✓ الإجراءات التي تقوم بتنفيذها الجهة الحكومية والمصافي، وترغب بمناقشتها مع أطراف أخرى، بهدف تبادل الخبرات والآراء، والاطلاع على تجارب الآخرين حول أفضل الممارسات المتبعة، والتي يمكن أن تكون دروساً يستفاد منها لتطوير العمل.

يبين الجدول 3-1 بيانات التقارير الدورية التي تقدمها المصافي إلى الجهة الحكومية.

الجدول 3-1: بيانات التقارير الدورية التي تقدمها المصافي إلى الجهات الحكومية

الإجراءات الحكومية	البيانات المطلوبة في التقارير
إصدار التشريعات الخاصة بخفض انبعاثات المصافي	• البرامج الجاري تنفيذها، أو التي هي قيد التحضير • معايير الانبعاثات: ✓ نقاط الانحراف عن القيم النظامية ✓ قيم تركيز الانبعاثات المسموحة ✓ الحدود القصوى (قيم الذروة)
متطلبات المراقبة وإعداد التقارير	• مستويات إجمالي انبعاثات المصفاة • مستويات كل مصدر من مصادر الانبعاثات • خطة مراقبة جودة الهواء الجوي في المنطقة
القضايا الصحية	• دراسات تقييم الانعكاسات الصحية للانبعاثات • مؤشرات الانعكاسات الصحية • الاعتبارات الصحية التي اعتمدت أثناء إصدار تشريعات تخفيض الانبعاثات
مشاركة الجمهور	• إجراءات إعداد وتطوير السياسات والتشريعات • إجراءات منح تراخيص إنشاء المصافي، أو تمديد التراخيص للمنشآت القائمة • تقارير الآثار الصحية لانبعاثات المصافي

العنصر الرابع: إشراف الجهة الحكومية

يساهم الإشراف الحكومي في تعزيز التعاون بين ممثلي القطاعات المهتمة بقضايا حماية البيئة من التلوث في المنطقة وبين إدارات المصافي، وذلك من خلال عقد اللقاءات الدورية لمناقشة فقرات وبيانات الدليل التوضيحي، التي تتضمن تحليلات الآثار الصحية للانبعاثات، وكافة البيانات المتعلقة بدراسة الواقع القائم للمصافي، والاعتبارات المحلية والإقليمية، بما يمكنها من تحقيق إنجاز المهام التالية:

- مراجعة وتحديث الحدود القصوى للانبعاثات التي تطلقها كل مصفاة.
- تحديد البرنامج الزمني لمراحل تنفيذ تقنيات خفض الانبعاثات التي ستقوم بها المصافي.
- متابعة عملية المراقبة المستمرة لانبعاثات المصافي، ومراجعة التقارير الدورية للتأكد من مدى تقدم خطة خفض الانبعاثات حسب الأهداف المرسومة.

3-1-2: عوامل نجاح خطة إدارة انبعاثات المصافي

يتطلب تطبيق خطة إدارة انبعاثات مصافي النفط تضافر جهود كافة الأطراف المعنية بعملية خفض الانبعاثات والمحافظة على سلامة البيئة من التلوث. ولضمان الحصول على أفضل النتائج الممكنة من تطبيق النظام يجب العمل على تحقيق الشروط والفعاليات التالية: (Barthe, P., et al., 2015)

- التزام إدارة المصفاة بمتابعة تنفيذ خطة خفض الانبعاثات.
- تحديد سياسة واضحة لخفض الانبعاثات تتضمن إجراءات التحسين المستمر التي يجب تطبيقها على المعدات القائمة في المصفاة.
- ربط عملية إعداد الإجراءات والأهداف مع التخطيط المالي والاستثماري للشركة.
- تنفيذ إجراءات خفض الانبعاثات مع الأخذ بعين الاعتبار الأمور التالية:

- ✓ الهيكل التنظيمي للمصفاة وتحديد المسؤوليات.
- ✓ تدريب العاملين، ورفع مستوى الوعي بأهمية حماية البيئة من التلوث.
- ✓ تحسين طرق الاتصال بين الأقسام والدوائر.
- ✓ دمج كافة العاملين في عملية تنفيذ نظام إدارة الانبعاثات.
- ✓ توثيق كافة النتائج والبيانات.
- ✓ اختيار أفضل طرق ضبط الانبعاثات.
- ✓ برامج صيانة المعدات.
- ✓ خطط مواجهة الحالات الطارئة.
- ✓ الالتزام بمتطلبات التشريعات البيئية الخاصة بضبط انبعاثات مصافي النفط.

- اختبار الأداء واتخاذ الإجراءات التصـــحيحية، مع توجيه الاهتمام نحو الأمور التالية:
  - ✓ القياس والمراقبة
  - ✓ الاجراءات الوقائية
  - ✓ حفظ السجلات وتصنيفها
  - ✓ إجراء عمليات التدقيق من قبل فريق متخصـــص داخلي وآخر خارجي مستقل للتأكد من مطابقة تنفيذ الخطط والترتيبات.
- مراجعة نظام إدارة الانبعاثات من قبل الإدارة العليا للمصـــفاة، للتأكد من استمرار صلاحية وفعالية النظام.
- تحديد الأثر البيئي للمعدات الجديدة منذ المراحل الأولية لإعداد التصـــاميم الهندسية.
- إجراء مقارنة دورية لنتائج تطبيق النظام مع القيم المعيارية العالمية.

2-3: قائمة جرد انبعاثات المصافي

تعتبر قائمة جرد الانبعاثات Emission Inventory جزءاً أساسياً من الخطة الوطنية لإدارة انبعاثات مصافي النفط، بوصفها الأداة التي يمكن بواسطتها تقييم الحالة الراهنة والمستهدفة لمعدلات الانبعاثات التي تطرحها المصافي إلى البيئة مصنفة حسب النوع والمصدر. (RTI, 2015) يبين الجدول 3-2 نموذج قائمة جرد انبعاثات مصافي النفط.

الجدول 3-2: نموذج قائمة جرد انبعاثات مصافي النفط

المصدر /المواد	حرق الوقود	التكسير بالعامل الحفاز	التكسير بالعامل الحفاز المانع	استرجاع الكبريت	إنتاج الهيدروجين	الأسفلت	معالجة المياه الملوثة	تحميل وتفريغ المنتجات	أبراج مياه التبريد	خزانات النفط والمنتجات	عمليات التوقيف والتشغيل	التوقفات والأعطال الطارئة
الرصاص	*	*	*	*							°	°
الجسيمات الدقيقة $PM_{2.5}$	*	*	*	*		*					°	°
الجسيمات الدقيقة PM_{10}	*	*	*	*		*					°	°
أكاسيد الكبريت	*	*	*	*		*					°	°
أكاسيد النيتروجين	*	*	*	*		*					°	°
أكاسيد الكربون	*	*	*	*		*					°	°
المركبات العضوية الطيارة	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*

المصدر: RTI, 2015
* قيم مقاس ° قيم تقديرية

تساهم قائمة جرد الانبعاثات في تحديد نقاط الخلل والانحراف عن القيم النموذجية المتبعة في المصافي الأخرى الملتزمة بتطبيق المعايير العالمية، ومساعدة القائمين على هيئات حماية البيئة، وإدارات المصافي في اتخاذ القرار الأنسب حول الإجراءات

والتقنيات اللازمة لخفض كمية الانبعاثات من المصادر المختلفة في المصفاة إلى أدنى المستويات الممكنة. (IPIECA, 2012)

لقائمة جرد الانبعاثات فوائد أخرى مهمة، كتحديد مدى الأثر البيئي المتوقع من مشاريع توسيع الطاقة التكريرية للمصفاة أو إضافة عمليات جديدة، فضلاً عن أنها تشكل جزءاً رئيسياً من التقارير التي تقدمها المصفاة إلى الجهات الحكومية المشرفة على مراقبة الانبعاثات الملوثة للبيئة، في إطار الخطة الوطنية لتحسين جودة الهواء الجوي وحماية البيئة من التلوث. (Goodwin, J. & Pulles, T., 2009)

3-2-1: مراحل إعداد قائمة جرد الانبعاثات

تنطلق عملية إعداد قائمة جرد الانبعاثات بتحديد المجالات التي ستستخدم فيها القائمة، كأن تستخدم أحد متطلبات إعداد التقارير الدورية لجهات الرقابة الحكومية، أو لغرض متابعة تطور كمية الانبعاثات خلال فترة زمنية محددة، حيث تساعد معرفة استخدامات القائمة في توجيه المدققين نحو اختيار أفضل التوصيات المناسبة لتحسين جودة البيانات وتعظيم الفائدة منها.

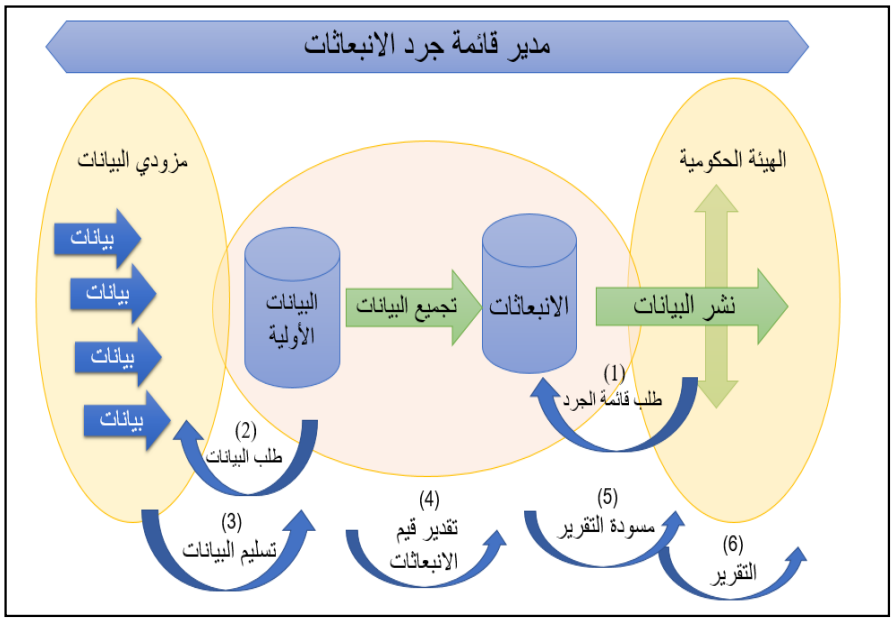
يتولى إعداد قائمة جرد الانبعاثات فريق عمل تمثل فيه كافة الجهات ذات العلاقة، مع التأكيد على ضرورة وجود أعضاء من مشغلي عمليات التكرير، وذلك للاستفادة من معرفتهم بمواقع المعدات، وطريقة تشغيلها، وظروف عملها.

تتكون عملية إعداد قائمة جرد الانبعاثات من المراحل الستة التالية: يبين الشكل 3-2 مراحل إعداد قائمة جرد انبعاثات مصافي النفط.

- قيام الهيئة الوطنية بتحديد محتويات القائمة، والأهداف المطلوب تحقيقها من إعدادها.
- قيام اللجنة المختصة بطلب البيانات الخاصة بقائمة جرد الانبعاثات من الجهات المعنية بتزويد البيانات.

- قيام مزودي البيانات بتسليم البيانات التي تعتبر أساساً لتقدير كمية الانبعاثات التي ستدرج في القائمة.
- تجميع وتصنيف البيانات، حيث تقوم اللجنة المختصة بتصنيف البيانات الواردة، وحساب كمية الانبعاثات.
- تحضير مسودة تقرير أولي يتضمن بيانات قائمة جرد الانبعاثات، وتسليمها إلى الهيئة الوطنية.
- اعتماد التقرير من قبل الهيئة الوطنية لمراقبة الانبعاثات وتسليمه إلى الجهات المسؤولة عن شؤون حماية البيئة.

الشكل 3-2: مراحل إعداد قائمة جرد الانبعاثات



المصدر: Goodwin, J. & Pulles, T., 2009

3-2-2: تدقيق بيانات قائمة جرد الانبعاثات

تشير التجربة العملية إلى أن إجراء عمليات التدقيق والمراجعة الدورية لقائمة جرد الانبعاثات يساهم في خلق العديد من فرص تحسين دقة وجودة البيانات، وذلك من

خلال التأكد من صحة القياسات، وخفض نسبة الأخطاء التي يمكن أن تنتج بسبب تعدد طرق حساب كمية الانبعاثات، وتعقيد عملية جمع بيانات ظروف التشغيل.

تتكون العناصر الأساسية لعملية تدقيق جودة بيانات قائمة جرد الانبعاثات من مجموعة من الاجراءات، أهمها:

- **إعداد خطة ضبط جودة البيانات**

يبدأ نظام إدارة قائمة جرد الانبعاثات بإعداد خطة لضبط جودة بيانات قائمة جرد الانبعاثات وتحديد فرص تحسينها، ثم تصنيف فرص التحسين حسب الأهمية، وفقاً لإجراءات تأكيد وضبط الجودة QA/QC. (RTI, 2015)

- **تدقيق البيانات**

تهدف هذه الخطوة إلى التأكد من أن كافة مصادر الانبعاثات المحتملة متوافقة مع متطلبات الغرض الذي ستستخدم فيه القائمة. وتتكون من مراجعة كافة الفرضيات، ونماذج الحساب Calculation Models، والمعاملات التي استخدمت لحساب كمية الانبعاثات.

- **توثيق النتائج**

يجب توثيق كافة الملاحظات والاقتراحات حول التحسينات، والتعديلات التي أدخلت على قائمة الجرد، مع الإشارة إلى الدروس المستفادة من عمليات المراجعة، وإعداد التوصيات والمقترحات التي يمكن من خلالها تحسين جودة البيانات في المراجعات القادمة، والتأكيد على ضرورة أن تكون التوصيات واضحة ومفهومة وسهلة التطبيق، وتشتمل على كافة التعليمات التفصيلية لإجراءات تنفيذ التعديلات المقترحة.

3-2-3: عوامل نجاح إعداد قائمة جرد الانبعاثات

تحتاج عملية إعداد قائمة جرد الانبعاثات الكثير من الجهد والوقت، والتأكيد على دقة القيم التي تتضمنها، حيث أن أي خطأ قد ينتج عنه خسائر كبيرة، وخصوصاً عندما تستخدم النتائج لاتخاذ قرارات مشاريع استثمارية باهظة التكاليف. ولنجاح العملية وتحقيق أهدافها يجب أن تتحقق الشروط التالية: (IPIECA, 2012)

- التأكد من أن كافة مصادر الانبعاثات قد تم تضمينها في القائمة.
- استخدام الطرق المناسبة لتقدير كمية الانبعاثات، والدقة في اتباع التعليمات التي تصدرها الجهة المصممة للطريقة.
- تجميع كافة بيانات ظروف التشغيل، والقيم التصميمية لمعدات المصفاة، أو الوحدة المراد حساب انبعاثاتها.
- التأكد من أن النتائج التي تقدمها القائمة متوافقة مع عمليات التشغيل في المصفاة.
- التأكد من مهارة وكفاءة وخبرة العاملين في إجراء عملية الحساب، والعمل على دمجهم في دورات تدريبية مستمرة.
- إجراء مراجعة لنتائج عملية الحساب من قبل جهات محايدة.
- دراسة الثغرات التي يتم اكتشافها في عملية الحساب، وتحليل أسباب حدوثها، وإعداد التوصيات والإجراءات الكفيلة بعدم تكرارها.
- توثيق كافة الافتراضات، ونوع الطرق المستخدمة في تنفيذ العملية.

3-3: طرق قياس كمية الانبعاثات

صممت طرق عديدة لقياس كمية الانبعاثات من قبل جهات متخصصة بإصدار التشريعات البيئية، مثل وكالة حماية البيئة الأمريكية US-EPA،

وهيئة حماية الهواء النظيف والماء في أوروبا CONCAWE[1]. منها ما يعتمد على العمليات الحسابية، أو متوسط معاملات الانبعاث[2]، ومنها ما يعتمد على استخدام أجهزة القياس المباشر. ويتوقف اختيار الطريقة الأنسب على الأهداف المنشودة من عملية الحساب، والوقت المتاح، ومدى توفر أجهزة القياس في الموقع. وفيما يلي أهم طرق تقدير كمية انبعاثات المصادر الثابتة: (IPIECA, 2012)

- **طريقة المراقبة المستمرة** CEM[3]، تستخدم في هذه الطريقة أجهزة تركب على مصدر الانبعاثات، تقوم بقياس وتسجيل الكمية الحقيقية للانبعاثات خلال فترات زمنية محددة. ويمكن تشغيلها بشكل مستمر، أو على فترات متقطعة. ومن ميزات هذه الطريقة أنها تساعد على حساب كمية الانبعاثات التي تنطلق من مصدر ما أثناء فترات تشغيلية مختلفة، ولكنها لا تعطي حسابات مباشرة لكمية الانبعاثات، بل تتطلب الاستعانة بمعادلات حسابية. كما تطبق هذه الطريقة لقياس تركيز NOx، وCOx، وSOx، وإجمالي الهيدروكربونات THC[4] في غازات المداخن.
- **طريقة اختبارات المصدر Source Tests**، يطلق هذا الاصطلاح على طريقة قياس كمية انبعاثات المداخن أو فوهات التنفيس الثابتة. وتختلف عن طريقة المراقبة المستمرة في أنها تطبق لقياس الانبعاثات خلال فترات زمنية قصيرة ومحددة، وتطبق غالباً في الحالات التي تحتاج إلى اختبار أداء بعض المعدات الخاصة، أو عند الحاجة إلى الحصول على بيانات خلال فترة زمنية محددة، كأوقات الذروة أو عند تشغيل الوحدة بطاقة إنتاجية محدودة.

[1] Conservation of Clean Air and Water in Europe
[2] Average Emission Factors
[3] Continuous Emissions Monitors
[4] Total Hydrocarbons

- **طريقة فوريير FTIR[1]**

تستخدم طريقة فوريير لمراقبة انبعاثات المصفاة من مسافات بعيدة، وتحديد مكونات الغازات المتسربة ضمن مجال خط النظر، مما يتيح للمشغل مسح مناطق واسعة يمكن أن تحتوي على عشرات، بل مئات النقاط التي يحتمل أن يحدث فيها تسرب للغازات في وقت واحد، وبالتالي يمكن الاستغناء عن القيام بزيارة المواقع لإجراء عمليات القياس يدوياً على كافة النقاط المحتملة. (Beil, A., et al., 1998)

يعتمد مبدأ طريقة فوريير على قياس الفرق في قدرة الغازات المقاسة على امتصاص الأمواج الضوئية LIDAR[2] فيتم تسليط حزمة من الأشعة المثل الأشعة تحت الحمراء Infra-Red Ray. يبين الشكل 3-3 محطة قياس الملوثات الغازية في الهواء الجوي بطريقة فوريير.

الشكل 3-3: محطة قياس الملوثات الغازية في الهواء الجوي بطريقة فوريير

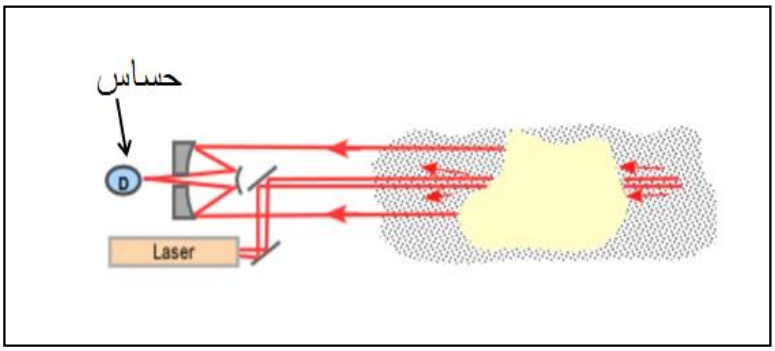
المصدر: Beil, A., et al., 1998

[1] Fourier Transform Infrared Spectroscopy
[2] Differential Absorption Light Detection and Ranging

- **طريقة الفرق في انعكاس حزمة أشعة الليزر DIAL**

وهي طريقة مماثلة لطريقة فوريير، حيث يتم قياس تركيز المركبات الهيدروكربونية في الهواء من خلال تسليط حزمة من أشعة ليزر. وتعتمد عملية القياس على مبدأ فرق امتصاص أشعة ليزر، حيث أن كل مركب يختلف عن الآخر في قدرته على امتصاص الأشعة. يبين الشكل 3-4 طريقة قياس تركيز الملوثات الهيدروكربونية في الهواء الجوي باستخدام الفرق في كمية أشعة الليزر الممتصة والمرتدة إلى جهاز قياس حساس مركب عن بعد في موقع ثابت أو متحرك على مركبة خاصة. (Robinson, R., 2015)

الشكل 3-4: طريقة قياس تركيز الهيدروكربونات باستخدام الفرق في انعكاس حزمة أشعة الليزر



المصدر: Robinson, R., 2015

- **طريقة الارتباط Correlation**، وتعتمد على تقدير كمية كل نوع من الانبعاثات اعتماداً على قيم مرتبطة بها، كحساب انبعاثات أكاسيد الكبريت من مدخنة الفرن اعتماداً على نسبة الكبريت في الوقود المستخدم. تطبق هذه الطريقة في حساب كمية انبعاثات وحدات معالجة المياه الملوثة، أو لتقدير كمية الهيدروكربونات الضائعة نتيجة التسربات الغازية من خطوط الأنابيب، حيث يتم استخدام القيمة التي يتم الحصول عليها من قياس تركيز الانبعاثات في منطقة محددة من خطوط الأنابيب لتقدير إجمالي كمية الانبعاثات المتسربة في كافة خطوط الوحدة المراد تقدير كمية انبعاثاتها. (IPIECA, 2012)

- **طريقة الموازنات المادية Material Balances**، وهي الطريقة التي تعتمد على حساب كمية الانبعاثات من خلال معرفة كمية بعض المواد الداخلة إلى العملية، والمواد الخارجة، وافتراض أن الفارق بينهما يمثل المواد الغازية التي تبخرت إلى الهواء الجوي أثناء عمليات التصنيع والنقل والتخزين.
- **نماذج الحاسوب Computer Models**، وهي برامج حاسوبية جاهزة تستخدم لحساب الانبعاثات في الحالات التي تكون فيها العمليات الحسابية طويلة ومرهقة، أو في حالات وجود مجموعة من العوامل التي تؤثر على كمية الانبعاثات، حيث توفر الكثير من الجهد والوقت. ومن الأمثلة على هذه النماذج، برنامج حساب انبعاثات الخزانات الذي يتطلب تحديد متغيرات عديدة، مثل لون طلاء الخزان، ودرجة حرارة المادة المخزنة، والعوامل الجوية، كدرجة حرارة الطقس وسرعة الرياح. (IPIECA, 2012)
- **متوسط معاملات الانبعاث Emission Factors**، وهي معاملات تمثل متوسط قيم الانبعاثات التي تنطلق من مصدر معين تبعاً لأحد ظروف التشغيل كالطاقة التكريرية، أو معدل حرق الوقود، فعلى سبيل المثال، إذا كان متوسط معامل انبعاث أكاسيد النيتروجين NOx الناتجة عن حرق فحم الإنتراسيت بقيمة 9 رطل من أكاسيد النيتروجين مقابل حرق كل واحد طن من الفحم، تضرب قيمة المعامل بكمية الفحم المستهلكة فنحصل على الكمية الإجمالية لانبعاثات أكاسيد النيتروجين المنطلقة من المصدر.
- **المحاكمة الهندسية Engineering Judgment**، وهي أقل الطرق استخداماً، حيث تعتمد على فرضيات ومعلومات هندسية معقدة.

تختلف طرق حساب كمية انبعاثات مصافي تكرير النفط فيما بينها، من حيث الدقة والتكلفة والتعقيد ومدى ملاءمتها لطبيعة ونوع المصدر الذي تنطلق منه الانبعاثات. وبشكل عام تعتمد عملية اختيار الطريقة الأنسب للحساب على العوامل الرئيسية التالية:

- توفر البيانات الدقيقة اللازمة لإعداد الحساب.
- ملاءمة الطريقة من الناحية العملية لطبيعة وخصائص مصدر الانبعاثات.
- الغاية من إجراء الحسابات والجهة التي ستستخدمها، فعلى سبيل المثال عندما تكون الغاية من الحسابات إعداد دراسة عن انعكاسات التشريعات البيئية على القضايا المتعلقة بحماية البيئة، وعلى اقتصاديات المصافي، أو الحالات الصحية للسكان، عندئذ يجب اختيار الطرق الأكثر دقة مقارنة بالحالات المستخدمة لمراقبة التغيرات التي تطرأ على مصادر الملوثات.
- أهمية مصدر الانبعاثات المراد مراقبته، فكلما كانت أهمية المصدر كبيرة كلما زادت الحاجة إلى اختيار طرق أكثر دقة.
- الزمن المتاح لإنجاز عملية الحساب.
- الموارد المتاحة، كفريق العمل الذي سيقوم بعملية الحساب، ومقدار التمويل.

1-3-3: حساب الانبعاثات المتسربة من عمليات التكرير

نظراً لاحتواء مصفاة النفط على عدد كبير من المعدات، كالصمامات والمضخات والضواغط، والتوصيلات التي تطلق الانبعاثات المتسربة، قد يصل إلى أكثر من مائة ألف في مصفاة متوسطة الحجم، فإن عملية حساب كمية الانبعاثات تحتاج إلى جهد كبير لإحصاء عدد المعدات، وتحديد نوع المواد التي تحتوي عليها هذه المعدات، حيث تصنف إلى الفئات التالية: (Withinshaw, D., et al., 2009)

- **الغازات والأبخرة Gas/Vapour (G/V):** وهي المواد التي تكون في حالة غازية أو بخارية، كالهيدروجين الغني بالغازات الهيدروكربونية.
- **السوائل الخفيفة Light Liquids (LL):** وهي المواد التي تحتوي على هيدروكربونات سائلة خفيفة، مثل الغازولين، والنافثا والنفط الخام الخفيف.

- **السـوائل الثقيلة Heavy Liquids (HL):** وهي المواد التي تحتوي على هيدروكربونات سائلة ثقيلة مثل: الكيروسين، ووقود الطائرات النفاثة، والديزل، ووقود الأفران، ووقود السـفن Bunker، ولقيم وحدة التكسـير بالعامل الحفاز المائع FCC، والأسفلت، والسوائل التي تحتوي على مواد هيدروكربونية بنسبة تزيد عن 10% وزنا.

يعتبر تركيب الانبعاثات التي تتسرب من المصادر المضغوطة على أنه مماثل لتركيب المواد الموجودة داخل هذه المصـادر، ويتبع التصـنيف المتبع في المرحلة الأولى (سـوائل ثقيلة، وسـوائل خفيفة، وغازات وأبخرة). أما المكونات التي يقل تركيزها عن 0.1% وزنا من إجمالي المادة الموجودة في المصـدر فتهمل كميتها من عملية الحساب.

لتحديد الكمية الإجمالية للانبعاثات التي تتسرب من معدات المصفاة يجب إجراء إحصـاء فعلي لكافة المعدات التي يحتمل أن تنبعث منها الملوثات الغازية في كل وحدة من وحدات المصـفاة، كالمضـخات، والضـواغط، إضـافة إلى المعدات الاحتياطية الموضوعة تحت الضغط، وصمامات الأمان، وغيرها.

3-3-2: حساب انبعاثات خزانات النفط الخام والمنتجات

تحسـب كمية المركبات العضـوية الطيارة المنطلقة من خزانات النفط الخام والمنتجات التي تحتوي على مواد خفيفة مثل الغازولين ووقود الطائرات النفاثة والمقطرات الوسـطى، باسـتخدام برامج حاسـوبية جاهزة، تدخل فيها عوامل عديدة كدرجة الحرارة، وقطر الخزان، والظروف البيئية المحيطة، إضـافة إلى خصـائص المادة المخزنة. أما خزانات زيت الوقود الثقيل والأسفلت فتهمل انبعاثاتها، إلا إذا كانت تحتوي على قطفات خفيفة لتخفيض اللزوجة Cuter Stock.

3-3-3: حساب انبعاثات محطات تحميل النفط الخام والمنتجات

تحسب كمية انبعاثات محطات تحميل المنتجات بالقطارات والشاحنات بإحدى الطريقتين التاليتين: (Lucas, R., 2002)

- **طريقة معاملات الانبعاث**، حيث تضـــرب كمية المنتجات النفطية المعبأة بمعاملات الانبعاث المبينة في الجدول 3-3.
- **طريقة اختبار المصدر Source Test**، وتعتمد على مبدأ تحليل مكونات عينة من الهواء المنطلق من فوهة الحاوية خلال مراحل متعددة من عملية التعبئة حتى تكون العينة ممثلة لكافة الظروف التي تمر أثناء العملية.

الجدول 3-3: معاملات انبعاث محطات تحميل المنتجات البترولية
(ملغ / لتر عند 15°م)

مصدر الانبعاثات	غازولين (1)	نفط خام (2)	نافثا	كيروسين طائرات	مقطرات وسطى	زيت وقود
فاقد عملية التحميل						
التحميل من الأعلى						
بدون خط توازن أبخرة	1430	580	430	5	4	0.03
بوجود خط توازن أبخرة	980	400	300	غ مس	غ مس	غ مس
التحميل من الأسفل						
بدون خط توازن أبخرة	980	400	300	غ مس	غ مس	غ مس
بوجود خط توازن	590	240	180	1.9	1.7	0.01
فاقد عملية النقل						
محمل بالمنتجات						
عادي	1.0-0	غ م	غ م	غ م	غ م	غ م
كثيف	9.0-0	غ م	غ م	غ م	غ م	غ م
فارغ، بوجود الأبخرة						
عادي	13.0-0	غ م	غ م	غ م	غ م	غ م
كثيف	44.0-0	غ م	غ م	غ م	غ م	غ م

(1) الضغط البخاري للغازولين RVP = 10 رطل /البوصة المربعة psia
(2) الضغط البخاري للنفط الخام RVP = 5 رطل/البوصة المربعة psia
غ مس: غير مستخدم، غ م: غير متوفر

3-3-4: حساب انبعاثات وحدات معالجة المياه الملوثة

يوجد طرق عديدة لحساب انبعاثات وحدات معالجة المياه الملوثة، أهمها:

- **طريقة البرامج الحاسوبية الجاهزة**، وهي طريقة سهلة تعتمد على مبدأ حساب كمية الانبعاثات بواسطة برامج كمبيوتر، حيث يقوم المستخدم بإدخال البيانات التالية:

  ✓ مخطط توزع معدات وشبكات تجميع المياه الملوثة في المصفاة، ومواصفاتها الفيزيائية.

  ✓ المواصفات الفيزيائية لكافة خطوط المياه الملوثة، من درجات حرارة وكمية الجريان وعدد الصمامات والتوصيلات، وأبعاد الخطوط، ونوع التقنيات المستخدمة للتحكم بالانبعاثات إن وجدت.

  ✓ نوع وتركيز المواد البترولية الموجودة في خطوط المياه الملوثة.

- **طريقة الحساب اليدوي**، وذلك باستخدام معادلات تعتمد على نظرية انتقال الكتلة وتوازن الغاز مع السائل. وهي طريقة معقدة تحتاج إلى عمليات حسابية يستغرق إجراؤها مدة زمنية طويلة.

- **طريقة اختبار المصدر**، التي تعتمد على أخذ عينات من الهواء في كافة نقاط تجميع المياه الملوثة التي تطلق المركبات العضوية الطيارة وتحليلها في المخابر لتحديد تركيز الانبعاثات. وعلى الرغم من دقة هذه الطريقة إلا أنها غير مرغوبة لأنها تحتاج إلى مدة زمنية طويلة وجهود كبيرة لتنفيذها، نظراً لإمكانية تجاوز عدد مصادر الانبعاثات عن المائة ألف مصدر.

- **طريقة الموازنة المادية**، التي تعتمد على حساب كمية المركبات الغازية التي تبخرت من خطوط ومعدات وحدة معالجة المياه الملوثة، من خلال حساب الفرق بين تركيز المواد البترولية السائلة في كل من المياه الملوثة الداخلة والخارجة من الوحدة. إلا أن استخدام هذه الطريقة محدود، نظراً للتغيرات الكثيرة التي تطرأ على مواصفات المياه الخارجة من المصفاة.

- **طريقة معاملات الانبعاث** للخطوط القادمة من عمليات التكرير، والصـــمامات والتوصيلات المركبة عليها، وتحديد فيما إذا كانت تطلق الانبعاثات مباشرة إلى الجو، أو أنها معزولة بسدادة مائية Water Seal، حيث أن السدادة المائية تمنع إطلاق الانبعاثات الغازية إلى الهواء، ثم تضـــرب بمعامل الانبعاث الذي تحدده الهيئات المتخصـصـــة لكل معدة من معدات الوحدة، بما يتناسـب مع نوع التقنية المتبعة. يبين الجدول 3-4 معاملات انبعاث وحدة معالجة المياه الملوثة.

الجدول 3-4: معاملات الانبعاث في وحدة معالجة المياه الملوثة

المعدات	معاملات الانبعاث			ملاحظات
	بدون تحكم	بنظام تحكم	وحدة القياس	
صمامات التصفية وعلب الوصل	0.032	0.000	كغ/سا/الصمام	100% مجهز بنظام سدادة مائية
فاصل الزيت عن الماء	0.11100	0.00330	كغ/م^3 مياه ملوثة	97% مجهز بنظام غطاء محكم
أحواض التعويم	0.00400	0.00012	كغ/م^3 مياه ملوثة	97% مجهز بنظام غطاء محكم
مجمعات مياه الأمطار	مهمل	مهمل		نظم تشغيل وصيانة صارمة
أبراج مياه التبريد	مهمل	مهمل		نظم تشغيل وصيانة صارمة

المصدر: Withinshaw, D. 2009

3-3-5: حساب انبعاثات أبراج مياه التبريد

تحسب كمية المركبات العضوية الطيارة التي تنبعث من أبراج مياه التبريد إلى الهواء بإحدى الطريقتين التاليتين:

- **طريقة معاملات الانبعاث**، التي تعتمد على قيم معاملات الانبعاث التي تنشـــرها الهيئات المتخصصة.
- **طريقة بيانات تركيز الهيدروكربونات**، وتعتمد على حســـاب الفرق بين تركيز الهيدروكربونات في المياه الداخلة والخارجة من الأبراج، وتحويل القيمة إلى كتلة وزنية/الساعة.

3-3-6: حساب انبعاثات الحوادث الطارئة

تعتمد كمية الانبعاثات الناتجة عن الحوادث الطارئة على نوع الحادثة، ولا تصنف الحادثة في سجل الحوادث الطارئة إلا إذا تجاوز الحد الأدنى لكمية المواد المتسربة المعدلات التالية:

- حوادث الانسكاب والتسرب إلى المياه السطحية التي تزيد فيها كمية الزيوت المنسكبة إلى الأحواض أو المجمعات المائية عن 10 لتر.
- حوادث الانسكاب والتسرب إلى السطوح الأرضية، والتي تزيد كميتها عن 200 لتر.
- حوادث طرح الهيدروكربونات إلى الهواء بكميات تزيد عن 100 لتر.

كما تعتمد كمية الانبعاثات الغازية على نوع المادة المنسكبة، والمنطقة التي تنسكب عليها المواد، فإذا كانت المواد المنسكبة في حالة غازية أو بخارية فتحسب بأنها تشكل نسبة 100% من إجمالي المواد المنسكبة، أما إذا كان الوسط الذي انسكبت عليه المواد هو وسط مائي أو أرض كتيمة فتقدر كمية الانبعاثات إلى الهواء الجوي بأنها تساوي حجم الهيدروكربونات التي لم يتم استرجاعها. في هذه الحالة تحسب كمية الانبعاثات إلى الهواء بضرب الحجم الصافي للمواد المنسكبة بمعامل التبخر Evaporating Factor، فإذا كانت المادة المنسكبة غازولين أو منتجات أخف منه فيفترض أن 100% من المادة المنسكبة قد تبخرت إلى الهواء. أما إذا كانت المواد المنسكبة وقود نفاثات أو منتجات أثقل فيفترض أن نسبة التبخر إلى الجو صفراً. ولكن عندما يكون الوسط الذي انسكبت عليه المواد سطحا نفوذاً، فيفترض عندئذ أن كامل الكمية المنسكبة قد نفذت إلى التربة ولم يتبخر منها شيء إلى الهواء.

3-3-7: حساب انبعاثات حرق الوقود في الأفران

من أفضل الطرق المتبعة لحساب كمية انبعاثات COx، و SOx، و NOx الناتجة عن حرق الوقود في الأفران ومحطات توليد بخار الماء والطاقة الكهربائية هي

الطريقة التي تعتمد على أجهزة التحليل التي تركب على المدخنة، وتعمل إما بشـــكل مســـتمر أو متقطع. وتعتبر هذه الطريقة أكثر دقة من طريقة الحســـاب اعتماداً على معاملات الانبعاث. (De Caluwé, G. et al., 2015)

3-3-8: حساب انبعاثات منظومة الشعلة

تختلف كمية المركبات العضوية الطيارة والملوثات الأخرى المنبعثة من الشعلة تبعاً لعوامل عديدة، أهمها نوع وســـرعة الغازات الواردة من الوحدات الإنتاجية، ومردود الاحتراق، ومدى ثبات اللهب في رأس الشـــعلة، إضـــافة إلى العوامل الجوية كسرعة الرياح، ودرجة حرارة الطقس.

تشـــير الدراســـات الإحصـــائية إلى أن معظم مصـــافي النفط تســـتخدم طريقة معاملات الانبعاث في حساب كمية انبعاثات منظومة الشعلة.

تعتمد دقة نتائج الحساب على مدى الدقة في قياس كمية ونوعية كل من الغازات الداخلة إلى الشـــعلة، وإلى شـــمعات الاحتراق الدائمة التي تســـتخدم للمحافظة على استمرار لهب الشعلة. ولتحقيق هذه الغاية تتبع الوسائل التالية، مرتبة حسب الأفضلية:

- المراقبة المستمرة بواسطة أجهزة مضمونة الجودة.
- إجراء اختبارات دورية بواسطة أجهزة وطرق تحليل مخبرية.
- مراجعة الحسابات الهندسية اعتماداً على تقييم تفصيلي لعمليات التكرير التي تنطلق منها الغازات إلى الشعلة.
- إجراء اختبارات الأداء أثناء إعداد قائمة جرد انبعاثات المصفاة.

3-4: تشريعات ضبط انبعاثات مصافي النفط

انطلقت عملية ضبط انبعاثات مصافي النفط في العالم في مطلع سبعينيات القرن الماضي، وذلك استجابة لتنامي المطالبات الشعبية بضرورة وضع حد لتفاقم مشكلة تلوث الهواء الجوي. تركز الاهتمام في ذلك الوقت على معالجة مشـــكلة الضـــباب

الدخاني (تركيز الأوزون)، والجسيمات الدقيقة PM، والمواد الخطرة، والملوثات الأخرى التي لها انعكاسات محلية. كما تناولت التشريعات تحديد النسب القصوى المسموح طرحها في كل من المصادر المتحركة، كوسائل النقل بأنواعها، والمصادر الثابتة الصناعية، كمحطات توليد الطاقة الكهربائية، ومصافي النفط.

كانت نقطة البداية في الولايات المتحدة الأمريكية بصدور قانون الهواء النظيف في عام 1970، ثم أدخل عليه تعديلات جوهرية في عامي 1977، و1990. بعد ذلك أصدرت وكالة حماية البيئة مجموعة جديدة من معايير الأداء الخاصة بمصافي النفط لضبط الجسيمات الدقيقة PM وأكاسيد النيتروجين NOx، وثاني أكسيد الكبريت SO_2، وأول أكسيد الكربون CO، يراعى فيها الاختلاف فيما بين المصافي، فعلى سبيل المثال، تم اصدار معايير مختلفة تبعاً للطاقة التكريرية أو لنوع عمليات التكرير، مثل التكسير بالعامل الحفاز المائع، والتفحيم المائع، ووحدات استرجاع الكبريت، وأفران عمليات التكرير.

في عام 2007 بدأت عملية إدراج الانبعاثات المسببة للاحتباس الحراري في فقرات قانون الهواء النظيف، حيث منح الكونغرس الأمريكي صلاحية ضبط انبعاثات غازات الدفيئة لوكالة حماية البيئة الأمريكية EPA، وذلك بناء على الدعوة التي رفعتها مجموعة من الولايات الأمريكية ضد وكالة حماية البيئة، تطالب فيها أن تقوم الوكالة بإدراج انبعاثات غازات الدفيئة التي تطلقها المصادر المتحركة في فقرات قانون الهواء النظيف. بعد ذلك تم تحديد القيم القصوى للمصادر الثابتة كالمصانع ومصافي النفط في عملية ضبط الانبعاثات.

في عام 2010 قدمت وكالة حماية البيئة الأمريكية اقتراحاً يتضمن إدراج معايير الأداء البيئي التي تتضمن الحدود القصوى المسموحة للانبعاثات التي تطلقها محطات توليد الطاقة الكهربائية، والمنشآت الصناعية، ومصافي النفط الجديدة والقائمة. كما يتضمن الاقتراح شروط الحصول على ترخيص إنشاء المصافي الجديدة

التي تطرح 100 ألف طن/السنة غاز CO_2 مكافئ، وفي الحالات التي يتم فيها إدخال تعديلات جديدة على المصفاة القائمة بحيث يمكن أن ينتج عنها زيادة في الانبعاثات بمقدار 75 ألف طن CO_2 مكافئ في السنة. أو عندما تبلغ الزيادة في كمية انبعاثات كبريتيد الهيدروجين H_2S أكثر من 10 طن في السنة.

في عام 2011 تم إدراج فقرات أخرى إلى قانون الهواء النظيف تتضمن إلزام المنشآت الصناعية الكبيرة، بما في ذلك مصافي النفط الجديدة، والتي تجري تعديلات جوهرية، بتنفيذ أفضل التقنيات المتاحة لخفض الانبعاثات. (Thomas, A., & Brian, B., 2015)

3-4-1: مراحل عملية إصدار تشريعات ضبط الانبعاثات

تتم عملية إصدار تشريعات ضبط الانبعاثات من مصافي النفط على ثلاث مراحل، تبدأ بتحديد أفضل الطرق الممكنة لخفض الانبعاثات، ثم مرحلة النشر والإبلاغ عن التشريعات المحتملة إلى الجمهور لإبداء الرأي. بعد ذلك يطلب من المصافي إعداد الخطط والإجراءات اللازمة لتلبية متطلبات التشريعات. (Donnelly, A. et al., 2014)

تقوم هيئات حماية البيئة بتحديد أفضل الطرق التي يمكن من خلالها خفض الانبعاثات التي تطلقها المصافي إلى أدنى قيمة ممكنة ليصار إلى اعتمادها كمعيار لقياس أداء المصافي. كما يؤخذ بعين الاعتبار أثناء تحديد معايير الأداء التكاليف المحتملة لإجراءات خفض الانبعاثات، وانعكاسات تطبيقها على قضايا الصحة والسلامة والبيئة.

تتولى هيئة حماية البيئة إعداد معايير وطنية لجودة الهواء الجوي لضبط الملوثات الضارة بالبيئة، وهي غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2، وأكاسيد النيتروجين NOx، وأول أكسيد الكربون CO، والجسيمات الدقيقة PM، وغاز الأوزون O_3 عند مستوى الأرض، والرصاص Pb. بعد ذلك تقوم الهيئة بتحديد المناطق من حيث التزامها

بالمعايير الوطنية لجودة الهواء، ويغطي التقسيم كافة الولايات المتحدة الأمريكية. فعندما يكون تركيز الملوثات أدنى من القيم القصوى المحددة في المعايير الوطنية تسمى المنطقة عندئذ بالمنطقة المحصنة Attainment أما المناطق التي يكون فيها تركيز الملوثات أعلى من القيم القصوى، فتسمى بالمناطق غير المحصنة Non-Attainment، وبالتالي فإن الهدف الرئيسي لقانون الهواء النظيف هو تحويل كافة المناطق غير المحصنة إلى مناطق محصنة. (Wakefield, B., 2007)

2-4-3: تشريعات منح ترخيص إنشاء مصفاة جديدة

تتضمن فقرات قانون الهواء النظيف عدم منح ترخيص إنشاء مصفاة نفط جديدة إلا بعد تعهد الشركة المالكة بأن لا تؤدي عمليات التكرير إلى تغيير في جودة الهواء الجوي الذي يستنشقه سكان المناطق المجاورة لموقع المصفاة، وذلك من خلال الالتزام بالمعايير التي يحددها القانون لكل منطقة، أو ما يسمى ببرنامج مراجعة المصادر الجديدة. فعلى سبيل المثل، قسمت مناطق الولايات المتحدة الأمريكية إلى مناطق محصنة، وأخرى غير محصنة، وعند منح المصفاة الموافقة على الإنشاء في المناطق المحصنة يجب أن تحصل الشركة على موافقة تسمى منع حدوث تدهور جوهري[1]، تتعهد من خلالها باتخاذ الإجراءات التي تساهم في خفض انبعاثات المصفاة، وبما يضمن عدم تحويل المنطقة المحصنة إلى غير محصنة.

تشترط التشريعات البيئية أن يتضمن ترخيص إنشاء مصفاة جديدة، أو تطوير مصفاة قائمة، متطلبات تلزم المصفاة باتخاذ كافة الاجراءات الممكنة لخفض الانبعاثات. ويتوقف مستوى التقنية المطلوبة على تصنيف المنطقة التي ستبنى عليها المصفاة فيما إذا كانت محصنة أو غير محصنة. (Wakefield, B., 2007)

[1] Prevention of Significant Deterioration-PSD

لا تقتصـر عملية تحديد أفضـل التقنيات الممكنة للتحكم بالانبعاثات على تركيب معدات التحكم بالانبعاثات، بل تتضـمن أيضـاً تعديل التصـاميم الهندسـية، وطرق تنفيذ العمل، والمعايير التشغيلية. وذلك من خلال الخطوات الرئيسية التالية:

- **إعداد قائمة بأفضـل التقنيات** التي يمكن من خلالها خفض الانبعاثات إلى أدنى قيمة ممكنة.
- **تقييم كافة التقنيات**، وتحديد الأسـباب التي يمكن أن تعيق نجاح تطبيق التقنية، وإعداد تقرير يبين تصنيف التقنيات المختارة حسب المعايير التالية:
  - ✓ كفاءة وفعالية التقنية (نسبة خفض الانبعاثات).
  - ✓ الكمية المتوقعة للانبعاثات (طن/السنة)
  - ✓ كمية الانبعاثات المخفضة (طن/السنة)
  - ✓ استهلاك الطاقة (وحدة حرارية بريطانية، كيلو وات ساعي)
  - ✓ الأثر البيئي (احتمالات تشكل انبعاثات أخرى سامة أو خطرة)
  - ✓ الانعكاسات الاقتصادية (التكلفة الإجمالية، والجدوى الاقتصادية)
- **اختيار التقنيات الأنسب**

لضمان أفضل النتائج المرجوة من تطبيق برنامج منح التراخيص يجب مشاركة الجمهور في مراجعة وتدقيق الشروط والمعايير التي يجب أن تلتزم بها إدارة المصفاة قبل إصـدار الترخيص، وأن تتعهد بالمحافظة على الالتزام بها أثناء حالة التشـغيل العادي لوحدات المصـفاة، وأثناء عمليات الإقلاع والتوقيف لإجراء أعمال الصـيانة. (Wakefield, B., 2007)

تعتمد المدة الزمنية اللازمة لعملية منح ترخيص إنشاء مصفاة جديدة، أو إجراء تعديل جوهري على مصفاة قائمة، على معدل الانبعاثات المحتمل أن تطرحها المصفاة إلى البيئة بعد تنفيذ المشـروع. ويبلغ متوسـط الزمن الذي تسـتغرقه إجراءات منح

الترخيص حوالي سبعة أشهر، وقد تصل في بعض الحالات إلى سنتين. وفيما يلي المراحل الرئيسية لعملية منح الترخيص: (CEA, 2015)

- **الاجتماعات التحضيرية**، تعقد اجتماعات تحضيرية يلتقي فيها ممثلون من المصفاة مع الهيئة المانحة للتراخيص، يتم فيها تقديم شرح مبسط عن المشروع، وأهدافه. قد تستغرق هذه الاجتماعات عدة أشهر قبل تقديم طلب الحصول على الترخيص.
- **تقديم طلب الترخيص**، في هذه المرحلة تقوم المصفاة بتقديم طلب الحصول على الترخيص إلى هيئة منح التراخيص، ملحقاً بكافة المراسلات السابقة التي تمت بين المصفاة والهيئة، ونسخة عن القوانين الناظمة لمعايير الانبعاثات التي تطرحها مصافي النفط، إضافة إلى الوثائق التي تثبت تصنيف المنطقة فيما إذا كانت محصنة أم غير محصنة[1]، وتصريح موقع من إدارة المصفاة يبين فيما إذا كانت الشركة تشغل أو تملك مصفاة أخرى في نفس المنطقة.
- **دراسة الطلب**، حيث تقوم الهيئة بالتأكد من أن الطلب يحتوي على كافة الوثائق والبيانات المطلوبة من الشركة.
- **إصدار مسودة أولية للترخيص ونشره للجمهور**، في هذه المرحلة تقوم هيئة منح التراخيص بإرسال إعلان إلى كافة الأطراف المدرجة أسماؤهم في قائمة الأشخاص والمنظمات المهتمة بالموضوع، كما تقوم المصفاة بنشر المسودة الأولية للترخيص في كافة وسائل الإعلام الممكنة، مع الإشارة إلى المكان والطريقة التي يمكن من خلالها الحصول على مسودة الترخيص.

تحدد في الإعلان مدة ثلاثين يوما، اعتباراً من تاريخ إصدار مسودة الترخيص لاستقبال الملاحظات من الجمهور، وترفض أية ملاحظة تصل بعد التاريخ

[1] Attainment or Non-attainment

المحدد. ويمكن للجمهور تقديم طلب تمديد الفترة المخصصة لتقديم الملاحظات، وللهيئة الحق بالموافقة أو الرفض.

- **إصدار النسخة النهائية للترخيص،** بعد دراسة الملاحظات الواردة من الجمهور والرد عليها بالموافقة على إجراء التعديلات المقترحة أو الرفض، تقوم الهيئة بإصدار النسخة النهائية للترخيص وتسليمها للمصفاة.

تتضمن النسخة النهائية للترخيص متطلبات التزام المصفاة بمراقبة الانبعاثات الملوثة للبيئة، وإعداد قائمة جرد تبين الكميات التي تطلقها المصفاة وإدراجها في تقرير يرفع إلى الهيئة بشكل دوري. ويمكن لأي مواطن الحصول على نموذج التقرير من الهيئة، وتقديم شكوى فيما إذا وجدت حالات خرق لمتطلبات قانون الهواء النظيف أو متطلبات الترخيص.

تحسب الزيادة المتوقعة في الانبعاثات التي سيطلقها المشروع بطرح إجمالي الانبعاثات المتوقعة بعد تنفيذ مشروع التطوير من كمية الانبعاثات التي تطرحها المصفاة في الوقت الحالي. أما بالنسبة لإنشاء المشاريع الجديدة فالعملية أسهل، حيث لا يوجد انبعاثات سابقة يجب حسابها. (Thomas, A., & Brain, N., 2015)

تحسب الانبعاثات التي تطرحها المصفاة قبل التعديل بالمعدل الوسطي لكل نوع من أنواع الانبعاثات التي تطرحها الوحدة في 24 ساعة متتالية على مدار الشهر، خلال السنوات العشر التي تسبق تاريخ تقديم طلب الحصول على ترخيص الانشاء، أو تاريخ بدء عمليات الإنشاء. أما الانبعاثات المتوقعة فتحسب كميتها بالمعدل الوسطي السنوي الأقصى لكمية الانبعاثات المتوقع أن تطرحها الوحدة في أي سنة من السنوات الخمس، وفي بعض الحالات في السنوات العشر التي تلي تاريخ استئناف المصفاة للتشغيل العادي بعد استكمال مشروع التطوير أو التوسيع.

بمعرفة المعدلات الوسطية لكمية الانبعاثات الحالية والمتوقعة يمكن حساب مقدار الزيادة المتوقعة من إنشاء مشروع التطوير، وبالتالي يمكن تحديد فيما إذا كانت هناك حاجة للحصول على ترخيص جديد.

تعتبر عمليات الإقلاع والتوقيف، وفترات التوقف لإجراء أعمال الصيانة، أو حالات تعطل معدات التحكم بالانبعاثات، من الحوادث الطارئة التي تؤدي إلى ارتفاع معدلات انبعاثات مصفاة النفط إلى قيم تفوق المعدلات العادية، لذلك تسمح تشريعات ضبط الانبعاثات للمصافي بتجاوز القيم المسموحة في مثل هذه الحالات التي من المستحيل التحكم بكمية الانبعاثات بالوسائل التكنولوجية المتاحة.

بما أن شرط الحصول على ترخيص تطوير المصفاة يتضمن عدم تجاوز إجمالي كمية الانبعاثات التي ستطلقها المصفاة عن قيم محددة فإن المصافي تسعى إلى اتخاذ كافة الإجراءات الممكنة لتفادي المطالبة بالحصول على ترخيص جديد، وذلك إما من خلال الإدعاء بأن التطوير الذي يجري تنفيذه ليس جوهريا إلى الحد الذي يؤدي إلى تجاوز القيم المسموحة للانبعاثات، أو باللجوء إلى ضم الزيادة التي تحدث في الانبعاثات إلى قيم انبعاثات المصافي الأخرى التي تمتلكها الشركة.

(Thomas, A., & Brain, N., 2015)

الفصل الرابع

أمثلة عملية لمشاريع خفض انبعاثات مصافي النفط

4-1: أمثلة لمشاريع خفض الانبعاثات في الدول الأعضاء في أوابك

4-1-1: تجربة دولة الكويت في إعداد خطة خفض انبعاثات مصافي النفط
4-1-2: تجربة شركة أرامكو السعودية لخفض الانبعاثات المتسربة من منشأة شدقم لمعالجة الغاز الطبيعي

4-2: أمثلة لمشاريع خفض انبعاثات مصافي النفط في مناطق العالم

4-2-1: تجربة تخفيض الانبعاثات في مصفاة إنجين - جنوب أفريقيا
4-2-2: تطبيق منظومة إدارة البيانات البيئية لتطوير عملية مراقبة الانبعاثات في مصفاة تكساس-الولايات المتحدة الأمريكية
4-2-3: شروط ترخيص إنشاء مصفاة جديدة في أريزونا - الولايات المتحدة الأمريكية
4-2-4: خطة خفض انبعاثات مصفاة غوثنبرغ
4-2-5: مشروع تطوير مصفاة باين بيند

الفصل الرابع

أمثلة عملية لمشاريع خفض انبعاثات مصافي النفط

مقـدمة

يستعرض هذا الفصل عدداً من التجارب العملية لمشاريع قامت بها مصافي النفط لخفض انبعاثاتها في بعض الدول الأعضاء في أوابك، وفي مناطق العالم الأخرى، مع الإشارة إلى أهداف تلك المشاريع، وطبيعة الصعوبات التي واجهت عملية تنفيذ خطط خفض الانبعاثات، والتوصيات والنتائج التي أمكن الحصول عليها.

4-1: أمثلة لمشاريع خفض الانبعاثات في الدول الأعضاء في أوابك

تشـهد صـناعة تكرير النفط في الدول الأعضـاء في منظمة الأقطار العربية المصـدرة للبترول "أوابك" تطوراً ملحوظاً في مجال الاهتمام بقضـايا الحد من طرح الملوثات الناتجة عن عمليات التكرير إلى البيئة، وذلك نتيجة تنامي الوعي بخطورة الآثار السلبية للتلوث البيئي على صحة الإنسان والبيئة.

انطلقـت عمليـة إصـدار التشـريعات والقـوانين البيئيـة الناظمـة للأنشـطة الصـناعية، ومـن ضـمنها صـناعة تكريـر الـنفط، فـي معظـم الـدول الأعضـاء فـي أوابـك مـع بدايـة تسـعينيات القـرن الماضـي، وذلـك بتـأثير الضـغوط التـي تمارسـها بعـض الهيئـات الحكوميـة والشـعبية، ومنظمـات العمـل المـدني، ووسـائل الإعـلام التـي تنقـل الشـكاوى المتكـررة للسـكان القـاطنين بجـوار المصـافي حـول معانـاتهم مـن تـأثير انتشـار الـروائح المزعجـة. وعلـى الـرغم مـن عـدم مـنح تلـك التشـريعات القـوة القانونيـة الملزمـة فـي معظـم الـدول الأعضـاء، إلا أن العديـد مـن المصـافي التـي تعـود ملكيتهـا إلـى شـركات وطنيـة قامـت بتنفيـذ إجـراءات خفـض الانبعاثـات

في إطار مشاريع تطوير المصافي التي نفذت في السنوات الماضية، أو التي هي قيد التنفيذ حالياً، إضافة إلى بعض الإجراءات التي تقوم بتنفيذها على المدى القريب، ولا تحتاج إلى تكاليف واستثمارات باهظة، وهي على النحو التالي: (مكي، ع.، 2017)

- إنشاء محطات رصد وقياس لنسب الملوثات في مناطق مختلف مجاورة لمصافي النفط، بهدف تقييم الوضع الراهن لنسب الملوثات، واختيار الإجراءات والحلول والتقنيات المناسبة لخفض الانبعاثات.
- إعداد قوائم جرد انبعاثات المصافي، لمتابعة تغيرات الانبعاثات، والعوامل المؤثرة في تغير كميتها.
- تطوير برامج الإدارة البيئية ونظم الصحة والسلامة، بهدف تحسين أداء المصفاة، والمحافظة على سلامة العاملين.
- تحسين برامج الصيانة الدورية والوقائية للمعدات، بهدف الحد من التوقفات الطارئة التي ينجم عنها تسرب المواد الهيدروكربونية من المعدات إلى البيئة.
- تطبيق برامج ترشيد استهلاك الطاقة، وتحسين مواصفات الوقود المستخدم في أفران عمليات التكرير، ومحطات توليد بخار الماء والطاقة الكهربائية، واستبدال الوقود السائل الحاوي على نسبة عالية من الكبريت بالغاز الطبيعي النظيف الخالي تقريباً من الكبريت والشوائب الملوثة للبيئة.
- تركيب مراحل إضافية لمفاعلات وحدة استرجاع الكبريت بطريقة كلاوس لتحسين مردودها، بهدف خفض انبعاثات SO_2.
- تركيب منظومات التقاط الجسيمات الدقيقة المنطلقة من عمليات تنشيط العامل الحفاز في وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC.

- تخفيض معدلات الغازات المحترقة في منظومة الشعلة، من خلال إجراء صيانة دورية لصمامات الأمان المرتبطة بالشعـــلة، وتركيب نظم استرجاع الغازات للاستفادة منها كوقود في أفران المصفاة بدلاً من حرقها.

على الرغم من أهمية الإجراءات التي اتخذتها بعض الدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصـدرة للبترول "أوابك" للحد من انبعاثات مصـافي النفط، لا تزال الحاجة ملحة لاتخاذ المزيد من القرارات التي من شـأنها تعزيز الأداء البيئي لصـناعة تكرير النفط في المنطقة العربية. يأتي في مقدمة هذه الإجراءات ضـرورة منح القوانين والتشـريعات البيئية القوة القانونية التي تمكن الهيئات المختصـة بحماية البيئة من القيام بدورها في مراقبة أنشـطة صـناعة التكرير، وإلزامها بالامتثال بمتطلبات تشـريعات التحكم بمعدلات الانبعاثات التي تطرحها إلى البيئة، وضـرورة تقديم دراسـة تقييم أثر بيئي للمشروعات الجديدة قبل منح ترخيص الإنشاء.

يذكر أن العديد من الدول الأعضـــاء قد حققت تقدماً ملحوظاً في هذا المجال، فعلى سـبيل المثال لا الحصـر، أصـدرت وزارة الإسـكان والبلديات والبيئة في مملكة البحرين العديد من القرارات التي تنظم عمل المنشـآت الصـناعية، منها القرار رقم (1) لسنة 1998 بشأن التقويم البيئي للمشروعات. كما أصدرت الهيئة الملكية للجبيل وينبع في المملكة العربية السـعودية نشـرة تتضـمن كافة التشـريعات البيئية التي تنظم عمل المنشآت الصناعية في المملكة. (RCJY, 2015)

4-1-1: تجربة دولة الكويت في إعداد خطة خفض انبعاثات مصافي النفط

نفذت شركة البترول الوطنية الكويتية[1] KNPC مشروع الخطة الوطنية لخفض انبعـاثـات مصـــافي النفط، بـالتعـاون مع معهـد الكويـت للأبحـاث العلميـة [2]KISR، وبمساعدة عدد من بيوت الخبرة الاستشارية. (KISR, 2005)

[1] Kuwait National Petroleum Company
[2] Kuwait Institute for Scientific Research

- **أهداف المشروع**

تتلخص أهداف الخطة الوطنية لخفض انبعاثات مصـافي النفط في دولة الكويت بما يلي:

- ✓ إعداد قائمة جرد انبعاثات مصـافي شـركة البترول الوطنية الكويتية الثلاث: ميناء الشـعيبة، وميناء الأحمدي، وميناء عبد الله، وذلك باسـتخدام طرق حساب الانبعاثات المتبعة في العالم، كطريقة وكالة حماية البيئة الأمريكية.
- ✓ اختبار مدى امتثال مصـافي النفط بمعايير الهيئة العامة للبيئة في دولة الكويت، وإعداد اقتراحات حول أفضـل تقنيات التحكم التي تلائم مصـافي ومنشآت شركة البترول الوطنية الكويتية.
- ✓ إعداد نظم يدوية وآلية للحصـول على بيانات فورية من الوحدات الصـناعية والمصادر الأخرى، وإدارة التقارير والبيانات البيئية.
- ✓ حسـاب إجمالي كمية الانبعاثات في كل مصـفاة، وإجراء تحليل إحصـائي، وإعداد نماذج رياضـية لتقييم مستويات الخطر على صـحة الإنسـان، بما في ذلك تجميع وقياس البيانات المطلوبة عن كل موقع.
- ✓ إعداد خطة مراقبة مستمرة، وتحديد مواقع نقاط مراقبة جودة الهواء، بهدف الحصول على المعلومات، وإعداد المقترحات المتعلقة بذلك.

- **فعاليات تنفيذ المشروع**

اشـتملت عملية تنفيذ الخطة الوطنية لتخفيض انبعاثات مصـافي النفط في دولة الكويت، على الفعاليات التالية:

- ✓ إعداد نماذج البيانات
- ✓ تجميع البيانات
- ✓ حساب التوازن المادي للانبعاثات

- ✓ تحليل واختيار أفضل تقنيات التحكم المتاحة
- ✓ تصميم نظام إعداد التقارير الخاصة بالمشروع

أما عملية إعداد النموذج الرياضي للهواء الجوي فقد تضمنت الفعاليات التالية:

- ✓ تحديد مصادر الانبعاثات إلى الهواء الجوي.
- ✓ إعداد مخطط المراحل الزمنية لإنشاء وحدات عمليات التكرير في كل مصفاة.
- ✓ إجراء اختبارات قبول المصنع Factory Acceptance Testing (FAT)
- ✓ إجراء اختبارات قبول الموقع Site Acceptance Testing (SAT)
- ✓ تدريب المستخدمين للنظام.
- ✓ تصميم نظام إعداد تقارير قائمة جرد الانبعاثات الغازية والنموذج الرياضي.

تم اختيار فريق المشـــروع التابع لمعهد الكويت للأبحاث العلمية من الباحثين والمهندسين، من اختصـاصـات مختلفة، مثل تشـغيل عمليات التكرير، وتجميع وإعداد البيانات، وتصميم النماذج الرياضية لتوزع الهواء، وتحليل عمليات المصفاة. أما فريق شـــركة البترول الوطنية الكويتية فيتكون من رئيس المشـــروع، ومشـــرف الصـــحة والســـلامة والبيئة، ومهندســـي تطبيقات الكمبيوتر، وعدد من خبراء عمليات وتقنيات تكرير النفط، وخبراء مكافحة التلوث.

- **مراحل تنفيذ المشروع**

نفذ مشروع إعداد قائمة جرد الانبعاثات التي تطلقها مصـافي النفط الكويتية من خلال المراحل الأربعة التالية:

➢ **المرحلة الأولى: إعداد نماذج البيانات**

الهدف من هذه المرحلة هو إعداد نماذج لتخزين البيانات الخاصـــة بقائمة جرد انبعاثات مصافي نفط شركة البترول الوطنية الكويتية.

- **المرحلة الثانية: تجميع المعلومات**

الهدف من هذه العملية هو الحصول على البيانات اللازمة لتحديد الانبعاثات الغازية وتقييمها، وإعداد النموذج الرياضي، وصياغة التقرير.

- **المرحلة الثالثة: حساب كمية الانبعاثات**

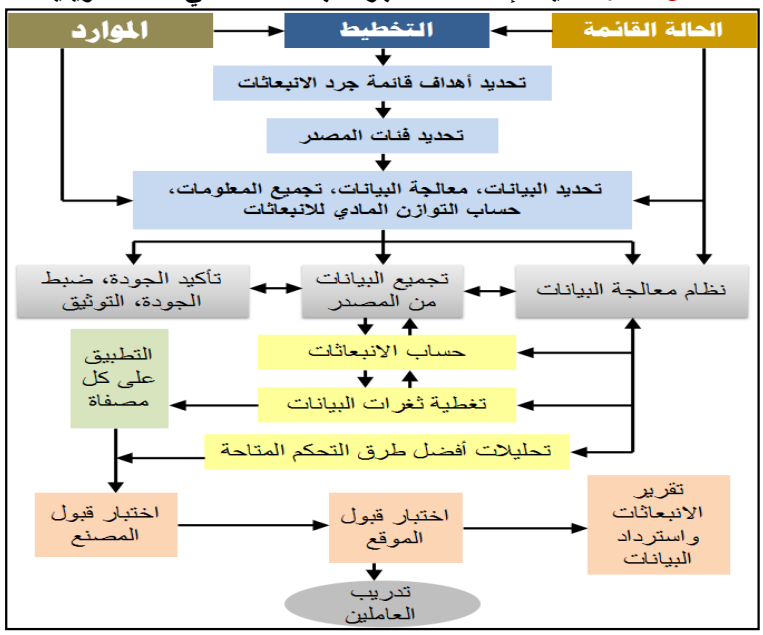
أجريت حسابات الموازنة المادية باستخدام عوامل الانبعاث التي وضعتها وكالة حماية البيئة الأمريكية US-EPA-AP-42K.

- **المرحلة الرابعة: اختيار أفضل تقنيات التحكم بالانبعاثات**

تم تحديد أفضل تقنيات التحكم بالانبعاثات الغازية الممكنة اعتمادا على الأسس والإرشادات التي وضعتها هيئة تكساس لحفظ الموارد الطبيعية TNRCC [1]

يبين الشكل 4-1 فعاليات إعداد قائمة جرد انبعاثات مصافي النفط الكويتية.

الشكل 4-1: فعاليات إعداد قائمة جرد انبعاثات مصافي النفط الكويتية



[1] Texas Natural Resource Conservation Commission

- **صعوبات تنفيذ المشروع**

واجه فريق العمل المكلف بإنجاز المشـروع العديد من الصـعوبات خلال كافة مراحل التنفيذ، مما تطلب في كثير من الأحيان تغيير مسـار خطة العمل المحددة لكل مرحلة، وقد تمكن الفريق من تذليل العديد من تلك الصـعوبات، وقام بإعداد مجموعة من المقترحات والتوصـيات. وفيما يلي عرض لتلك الصـعوبات والمقترحات في كل مرحلة من مراحل تنفيذ المشروع. (Kam, E., & Mirza, Y., 2004)

✓ **مرحلة إعداد نماذج البيانات**

في البداية قام المسـتشـارون الفنيون بإعداد أربعة عشـر فئة من نماذج البيانات لمصـفاة ميناء الأحمدي، في حين تم إعداد ثلاثة عشـر فئة لكل من مصـفاتي ميناء عبد الله وميناء الشـعيبة، وذلك لأن مصـفاة الأحمدي هي الوحيدة التي تحتوي على وحدة تكسير بالعامل الحفاز المائع FCC. ونتيجة لبعض الاهتمامات التي أبداها فريق المشـروع تم تعديل بعض النماذج، مع إضـافة نموذج بيانات آخر للمواد بهدف توحيد الأسـماء المسـتخدمة من قبل المصـافي الثلاث، وبذلك أصـبح العدد النهائي الإجمالي لفئات نماذج بيانات مصفاة الأحمدي خمسة عشر نموذجاً، على النحو التالي:

1. مراجل البخار Boilers
2. محركات الضغط Compression Engines
3. أبراج التبريد Cooling Towers
4. تسربات المعدات Equipment Leaks
5. وحدات التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC
6. الشعلات Flares
7. المواد Materials
8. مصادر مختلفة Miscellaneous Sources

9. أفران العمليات Process Heaters
10. معدات التبريد Refrigerant Equipment
11. وحدة استرجاع الكبريت Sulfur Recovery Unit (SRU)
12. الخزانات Tanks
13. عمليات النقل Transfer Operations
14. وحدات التقطير الفراغي Vacuum Distillation Units (VDU)
15. وحدة معالجة المياه الملوثة Waste Water Treatment

✓ **مرحلة تجميع البيانات**

وهي المرحلة الأكثر أهمية، حيث أن جودة البيانات ودقتها تعتبر من العناصر الأساسية لعملية إعداد النماذج الرياضية وضمان جودة النتائج.

كان من المخطط أن يعمل فريق معهد الكويت للأبحاث العلمية مع خبراء شركة البترول الوطنية الكويتية كفريق واحد، وأن تقدم قائمة بالبيانات المطلوبة إلى الدوائر ذات العلاقة، ثم يقوم فريق المشروع بمناقشة المختصين في المصفاة للتشاور وشرح محتوى البيانات واعتمادها، ثم تسلم هذه البيانات إلى فريق معهد الأبحاث العلمية الذي يقوم بتفريغها في نماذج البيانات التي تم إعدادها مسبقاً، إلا أنه منذ اللحظة الأولى لبدء تنفيذ المهمة ظهرت بعض الصعوبات، مثل:

1. عدم إدراك مشغلي عمليات التكرير في المصافي لأهمية المشروع
2. عدم توفر بعض البيانات المهمة
3. تعقيد نظام تخزين البيانات
4. تعدد أماكن تخزين أرشيف البيانات
5. تعدد أشكال أرشيف البيانات

6. تعدد نظم ترميز الأجزاء والمعدات والمواد

7. تعدد وحدات القياس، وغياب نظم التقييس Standardization

تجدر الإشارة إلى أنه أثناء قيام فريق معهد الأبحاث العلمية بزيارة المصافي للتشـــاور والمناقشـــة مع الدوائر ذات العلاقة، كالعمليات، والتشـــغيل، والخدمات الفنية، والصـــيانة، والصـــحة والســـلامة المهنية، وتطبيقات الكمبيوتر، ومختبرات تحليل المنتجات، والفحص الفني.... كان التفاعل بين فريق المعهد وطاقم المصـفاة يختلف من مصـفاة لأخرى، ونتيجة لذلك رفع فريق المعهد عدداً من الاقتراحات لتحسين سير العمل في المشروع وضمان جودة البيانات. وفيما يلي أهم هذه المقترحات:

1. ضرورة شرح أهداف المشروع ووصف المهام بدقة ووضوح للمهندسين الذين سيقدمون البيانات إلى فريق المشروع، إضافة إلى ضرورة إجراء محاضرات دورية، وتوزيع ملصقات للتوعية، بهدف تسهيل إنجاز العمل، وتعزيز الشعور بأهمية القضايا البيئية، وضمان دقة البيانات، وبالتالي توفير الوقت اللازم لتجميع المعلومات وضمان جودتها.
2. مراجعة كافة نماذج البيانات بدقة، للتأكد من أنها تغطي كافة مصـــادر الانبعاثات إلى أعلى درجة ممكنة من الشمولية.
3. مراجعة القيم الافتراضية التي تم وضعها في بعض نماذج البيانات.
4. تدقيق ومراجعة البيانات أكثر من مرة للتأكد من جودتها.
5. إعادة ترتيب البيانات في النماذج في كل مرة يتم فيها إجراء أي تعديل أو تغيير في قيم البيانات.
6. تفعيل عملية المراجعة والتحســـين المســـتمر لجودة البيانات حتى بعد الانتهاء من إنجاز المشروع.

7. تشجيع العاملين في المصافي على استخدام النظم المتطورة التي توضح أي إزالة أو تعديل أو إعادة تسمية لأي معدة من معدات المصفاة.
8. إضافة صفحات تعليمات توضيحية ReadMe Data Sheets إلى ملف نماذج البيانات، حتى يتمكن كادر المصفاة والمستشارون من الاطلاع عليها.
9. إعداد معايير موحدة لكل من نظام تسمية المواد، ومواصفات اللقيم والمنتجات النفطية، والمعدات، وقطع الغيار في المصافي الثلاث.
10. توحيد وحدات القياس الهندسية لشروط تشغيل عمليات التكرير بين المصافي.
11. تقريب أسلوب العمل في مختبرات المصافي الثلاث، من حيث نوع الأجهزة وطرق التحليل.
12. إعداد مخططات البنية الهيكلية للوحدات الإنتاجية في المصفاة، لاستخدامها في تحضير نماذج بيانات المصفاة.
13. إرفاق طريقة حساب التوازن المادي للانبعاثات مع نماذج البيانات، وبذلك يمكن تقدير كمية الانبعاثات فور الانتهاء من إملاء البيانات.
14. الاستمرار في مناقشة مسؤولي الصحة والسلامة والبيئة، حول موضوع تجميع البيانات، لاحتمال امتلاكهم معلومات قيمة حول الموضوع.

✓ **مرحلة حساب التوازن المادي للانبعاثات**

بسبب تعقيد البيانات التي تم تجميعها والمعلومات المرتبطة بها، وضخامة كميتها، لوحظ وجود بعض الانحرافات والاختلافات في بعض النماذج. وبما أن حسابات التوازن المادي قد أجريت اعتمادا على عوامل انبعاثات

وكالة حماية البيئة الأمريكية، فقد تم إجراء تدقيق مضـــاعف لكافة البيانات والنموذج الرياضـــي للانبعاثات، وذلك للتأكد من جودتها. و هذه المهمة تســتهلك أيضــاً وقتاً طويلاً، حيث يجب أن يقوم بها الكادر الذي قام بتجميع البيانات باعتباره الأقدر على معرفة مصادر البيانات وجودتها.

أثناء قيام فريق المشروع بتدقيق ومراجعة حسابات التوازن المادي وتقارير الانبعاثات، ظهرت بعض الأسئلة والملاحظات التي أرسلت إلى بيت الخبرة للمشورة والتوضيح، ونتيجة لذلك تحسنت جودة بيانات التقارير بشكل كبير.

في عام 2015 نشـرت جامعة الكويت - قسـم الهندسـة الكيميائية نتائج دراسـة حول مستويات التلوث الهوائي في المناطق السكنية القريبة من مصافي النفط في دولة الكويت وهي، منطقة الفحاحيل من الجهة الشـــمالية للمصـــافي، ومنطقة أم الهيمان جنوباً، ومنطقة الأحمدي في الجهة الشـمالية الغربية. وقد تم اسـتخدام برنامج إيرمود لحســـاب تركيز الملوثات، إضـــافة إلى القياس كل خمس دقائق لمدة 24 ســـاعة في المناطق الثلاث. أثبتت الدراسة أن تركيز جميع الملوثات التي تم قياسها هي أعلى من تقديرات المصـافي، مما أظهر أن هذه المناطق متأثرة بملوثات تطلقها مصـادر أخرى غير المصافي، مثل حقول النفط ومحطات توليد الطاقة الكهربائية، علاوة على وسائل النقل.(Alhaddad, A., Ettouney, H. & Saqer, S., 2015)

يبين الجدول 4-1 تركيز الملوثات في المناطق السكنية في دولة الكويت حسب سجلات المصافي. كما يبين الجدول 4-2 القيم المقاسة والمتوقعة لتركيز الملوثات في الهواء الجوي في المناطق الســكنية في دولة الكويت، ومقارنتها بمعايير الهيئة العامة للبيئة.

الجدول 4-1: تركيز الملوثات في المناطق السكنية في دولة الكويت حسب سجلات المصافي
(جزء في المليون ج.ف. م)

المنطقة	الملوثات	مصفاة الأحمدي	مصفاة الشعيبة	مصفاة عبد الله
الفحاحيل السكنية 2010/12/21 - 2011/01/5	SO2	$4-10*2.5$	$3-10*1.6$	$6-10*3.3$
	NO	$6-10*1.6$	$4-10*1.4$	$5-10*2.7$
	CO	$5-10*6.2$	$2-10*6.3$	$3-10*2.0$
	VOCs	$5-10*1.5$	$2-10*2.1$	$3-10*2.6$
الأحمدي السكنية 2011/06/25 - 2011/07/10	SO2	$4-10*5.8$	0.0	0.0
	NO	$2-10*1.6$	0.0	0.0
	CO	$2-10*2.5$	0.0	0.0
	VOCs	0.0	0.0	0.0
أم الهيمان السكنية 2011/04/10 - 2011/04/25	SO2	$4-10*2.4$	$3-10*1.5$	$3-10*5.5$
	NO	$3-10*2.1$	$4-10*4.4$	$3-10*6.6$
	CO	$2-10*9.5$	0.13	0.53
	VOCs	$2-10*3.1$	0.75	0.89

المصدر: Alhaddad, A., Ettouney, H. & Saqer, S., 2015

الجدول 4-2: القيم المقاسة والمتوقعة لتركيز الملوثات في الهواء الجوي في المناطق السكنية ومقارنتها بمعايير الهيئة العامة للبيئة
(جزء في المليون ج.ف.م)

المنطقة	الملوثات	المصافي	القيم المقاسة	الهيئة العامة للبيئة
الفحاحيل السكنية 2010/12/21 - 2011/01/5	SO2	$3-10*2.0$	0.21	0.14
	NO	$4-10*2.0$	0.44	0.15
	CO	$2-10*6.5$	6.80	35
	VOCs	$2-10*2.3$	5.80	0.24
الأحمدي السكنية 2011/06/25 - 2011/07/10	SO2	$4-10*5.8$	0.05	0.14
	NO	$2-10*1.6$	0.05	0.15
	CO	$2-10*2.5$	2.04	35
	VOCs	0.31	7.14	0.24
أم الهيمان السكنية 2011/04/10 - 2011/04/25	SO2	$3-10*6.5$	0.04	0.14
	NO	$3-10*7.2$	0.06	0.15
	CO	0.82	1.60	35
	VOCs	0.60	2.91	0.24

المصدر: Alhaddad, A., Ettouney, H. & Saqer, S., 2015

إجراءات خفض انبعاثات مصافي النفط في دولة الكويت

ساهمت نتائج مراجعة قائمة جرد انبعاثات مصافي النفط الكويتية في توجيه الانتباه نحو ضرورة معالجة مصادر الانبعاثات. كما تولت هيئات حماية البيئة مسؤولية إصدار تشريعات بيئية وطنية تحدد القيم القصوى لكمية الانبعاثات التي تطلقها المنشآت الصناعية، ومن ضمنها مصافي النفط. يبين الجدول 4-3 القيم القصوى لبعض انبعاثات مصافي النفط في المعايير الوطنية لدولة الكويت.

الجدول 4-3: القيم القصوى لبعض انبعاثات مصافي النفط في المعايير الوطنية لدولة الكويت

العملية	الانبعاثات	القيمة القصوى
منظومة استرجاع الحرارة الضائعة في وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC	الجسيمات الدقيقة	1.0 كغ/طن متري فحم محترق
	SO_2	9.8 كغ/طن متري فحم محترق
	CO	500 ج.ف.م حجماً
	ضعف الرؤية Opacity	يجب ألا تتجاوز 30% لأكثر من 6 دقائق/الساعة
الوقود الغازي في عمليات الحرق	H_2S	230 ملغ /متر مكعب قياسي
وحدة استرجاع الكبريت (كلاوس) طاقتها أعلى من 20 طن/اليوم	SO_2	250 ج.ف.م حجماً في المدخنة أو فرن الإتلاف Incineration

المصدر: Kashyap, 2013

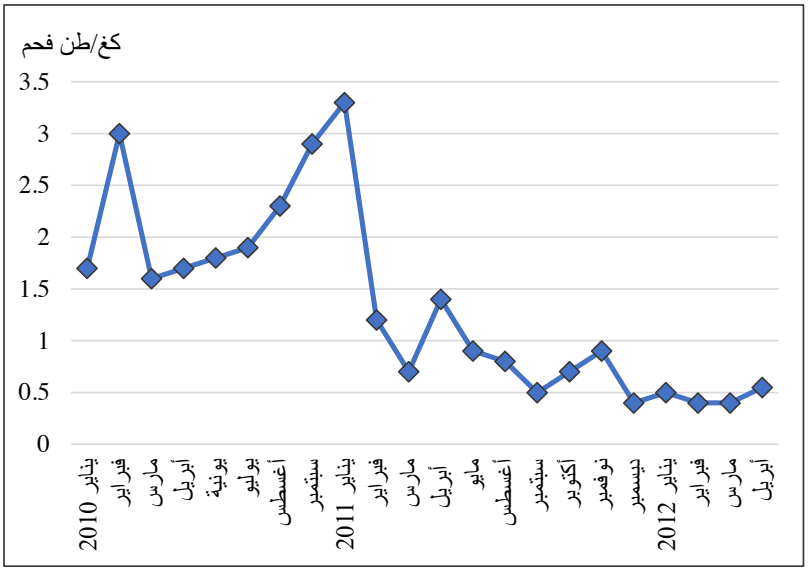
كما شهدت مصافي النفط في دولة الكويت تنفيذ العديد من الإجراءات الهادفة إلى خفض الانبعاثات مدفوعة بتوصيات ونتائج مراجعة قوائم جرد الانبعاثات، وتنامي الوعي بضرورة حماية البيئة من التلوث. وقد جاءت هذه الإجراءات على مراحل متتابعة، حيث تم تنفيذ بعضها في إطار مشاريع تطوير المصافي القائمة، وبعضها الآخر تم تنفيذه بشكل منفرد، منها على سبيل المثال ما يلي:

- **تركيب مرسبات كهروستاتيكية في وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع**

يهدف مشروع تركيب المرسبات الكهروستاتيكية في وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع FCC في مصفاة الأحمدي إلى خفض انبعاثات الجسيمات الدقيقة الناتجة عن حرق الفحم في وعاء تنشيط العامل الحفاز. وقد

أشارت النتائج إلى خفض معدل انبعاثات الجسيمات الدقيقة من حوالي 2.5 كغ/طن فحم في عام 2010 إلى حوالي 0.5 كغ/طن فحم في أبريل عام 2012. يبين الشكل 4-2 تأثير تركيب المرسبات الكهروستاتيكية على معدل انبعاثات الجسيمات الدقيقة من وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع في مصفاة الأحمدي. (Kashyap, A., 2013)

الشكل 4-2: تأثير تركيب المرسبات الكهروستاتيكية على معدل انبعاثات الجسيمات الدقيقة في وحدة التكسير بالعامل الحفاز المائع في مصفاة الأحمدي



المصدر: Kashyap, A., 2013

- **تركيب حراقات منخفضة أكاسيد النيتروجين في الأفران ومحطات توليد الطاقة**

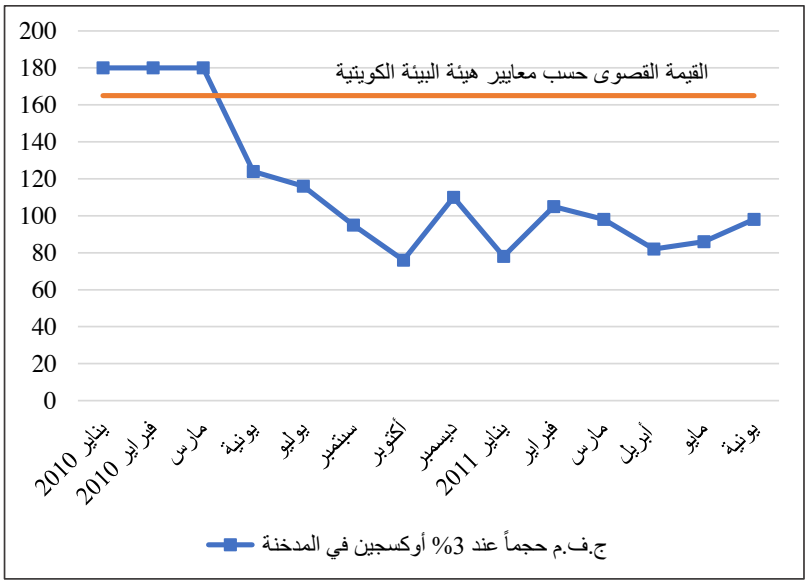
أشارت نتائج تحليل بيانات قائمة جرد الانبعاثات إلى ارتفاع نسبة أكاسيد النيتروجين في غازات مداخن الأفران ومحطات توليد بخار الماء والطاقة الكهربائية إلى مستويات أعلى من القيم المحددة في التشريعات البيئية لدولة الكويت بقيمة 165 ج.ف.م. حجماً، عند نسبة أوكسجين 3% في المدخنة، وذلك في عشرة أفران ومراجل بخارية في مصفاة الأحمدي.

ولتلبية متطلبات المعايير الوطنية لانبعاثات أكاسيد النيتروجين تم تركيب حراقات منخفضة أكاسيد النيتروجين Low NOx Burners في بعض الأفران والمراجل في عام 2011، وذلك على النحو التالي:

- ✓ المرحلة الأولى، تركيب حراقات جديدة في فرن واحد ومرجل بخاري واحد، حيث انخفضت فيهما نسبة أكاسيد النيتروجين في المدخنة إلى 120 ج.ف.م حجماً.
- ✓ المرحلة الثانية، تركيب حراقات جديدة في خمسة مراجل بخارية انخفض فيها المعدل الوسطي لأكاسيد النيتروجين في المدخنة إلى 69 ج.ف.م حجماً.

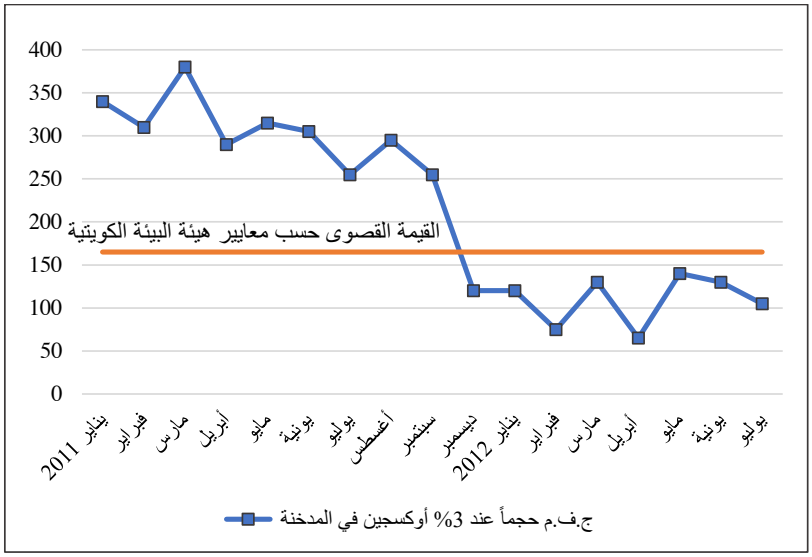
يبين الشكل 4-3 تأثير تركيب حراقات منخفضة النيتروجين على معدل انبعاثات أكاسيد النيتروجين في مدخنة مراجل بخار مصفاة الأحمدي. كما يبين الشكل 4-4 تأثير تركيب حراقات منخفضة أكاسيد النيتروجين على معدل انبعاثات أكاسيد النيتروجين في مداخن أفران مصفاة ميناء عبد الله.

الشكل 4-3: تأثير تركيب حراقات منخفضة أكاسيد النيتروجين على معدل انبعاثات أكاسيد النيتروجين في مدخنة مراجل بخار مصفاة الأحمدي



المصدر: (Kashyap, A., 2013)

الشكل 4-4: تأثير تركيب حراقات منخفضة النيتروجين على معدل انبعاثات أكاسيد النيتروجين في مداخن أفران مصفاة ميناء عبد الله



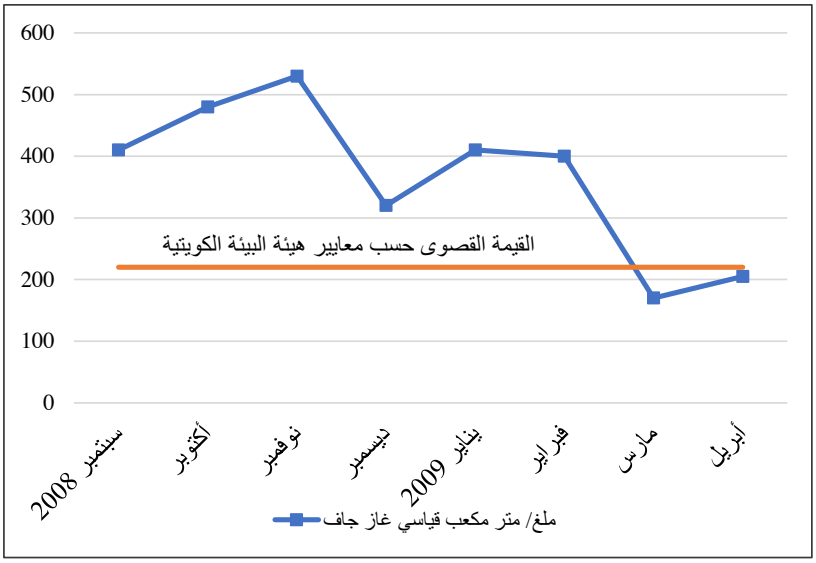
المصدر: Kashyap, A., 2013

- **خفض تركيز كبريتيد الهيدروجين في شبكة الوقود الغازي**

في إطار جهود خفض انبعاثات أكاسيد الكبريت من مداخن الأفران ومحطات توليد بخار الماء في مصفاة الأحمدي تم خفض تركيز كبريتيد الهيدروجين H_2S في شبكة الوقود الغازي.

تتكون شبكة الوقود الغازي في مصفاة الأحمدي من الغاز الفائض المنتج من عمليات التكرير في المصفاة، إضافة إلى الغاز الطبيعي المستورد من خارج المصفاة. وقد تم تلبية متطلبات التشريعات البيئية الوطنية الخاصة بالحد الأقصى لنسبة كبريتيد الهيدروجين في شبكة الوقود الغازي من خلال معالجة بعض المنتجات الغازية المغذية للشبكة، وتحويل الغازات الحاوية على نسبة عالية من كبريتيد الهيدروجين لاستخدامها في أماكن أخرى. يبين الشكل 4-5 تطور نسبة غاز كبريتيد الهيدروجين في شبكة الوقود الغازي لمصفاة الأحمدي.

الشكل 4-5: تطور نسبة غاز كبريتيد الهيدروجين في شبكة الوقود الغازي لمصفاة الأحمدي



المصدر: Kashyap, A., 2013

- **تركيب منظومة استرجاع غازات الشعلة**

أدى تركيب منظومة استرجاع غازات الشعلة في كل من مصفاتي ميناء الأحمدي وميناء عبد الله إلى خفض انبعاث 140 ألف طن CO_2 مكافئ في السنة.

- **برنامج إدارة الروائح**

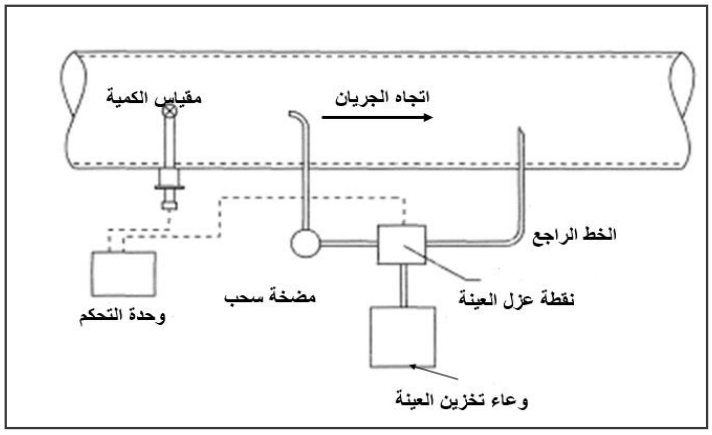
يهدف برنامج إدارة الروائح إلى تحديد مصادر الانبعاثات الغازية التي تسبب روائح مزعجة للعاملين في مصافي النفط والتجمعات السكنية المحيطة بها، والعمل على اتخاذ الاجراءات المناسبة لمعالجتها والحد منها. وقد تضمن البرنامج تنفيذ كل من الفعاليات التالية:

- ✓ تنظيم وضبط عمليات تنظيف الوحدات والأوعية بالبخار والماء أثناء التوقيف لإجراء عمليات الصيانة، باعتبارها مصدراً من مصادر الروائح المزعجة، وذلك من خلال تطبيق عملية إزالة الكيماويات من الأوعية بطريقة تضمن عدم حدوث اضطراب في ظروف عمل وحدات معالجة

المياه الملوثة الخارجة من المصفاة، وفي نفس الوقت تسريع عملية التنظيف، وتخفيض زمن توقف الوحدات.

- ✓ تطبيق إجراءات المناولة الآمنة للحاويات الصغيرة التي يتم فيها استيراد المواد الكيماوية من الخارج.
- ✓ تطبيق نظام إدارة غازات الشعلة الذي يتضمن الكشف الدوري على جودة عمل صمامات الأمان، والتأكد من عدم وجود تسربات إلى منظومة الشعلة.
- ✓ مسح مواقع المصفاة للكشف على خطوط التصفية المفتوحة التي تحتوي مواد تصدر روائح مزعجة كغاز كبريتيد الهيدروجين من خطوط تصفية المياه الخارجة من وعاء إزالة الأملاح من النفط الخام، وتركيب أغطية على فواصل الزيت عن الماء API Separator في وحدة معالجة المياه الملوثة، وتركيب منظومة مآخذ عينات المواد البترولية ذات الدورة المغلقة. يبين الشكل 4-6 مخطط منظومة أخذ العينات ذات الدورة المغلقة.
- ✓ برنامج الكشف عن التسربات وإصلاحها LDAR[1] للكشف على تسرب المواد الهيدروكربونية من الصمامات، وموانع التسرب في محاور المضخات والضواغط، وتوصيلات الأنابيب، وغيرها.....

الشكل 4-6: مخطط منظومة أخذ العينات ذات الدورة المغلقة



المصدر: IPIECA, 2012

[1] Leak Detection and Repair

ساهم تطبيق برنامج الكشف عن التسربات وإصلاحها في الحصول على النتائج والفوائد التالية: (Al Koot, F., 2011)

- خفض حوالي 50% (25 طن/السنة) من الهيدروكربونات المتسربة من محطات التسويق المحلية.
- خفض حوالي 174 طن/السنة من الانبعاثات الهيدروكربونية المتطايرة في مصفاة الأحمدي.
- خفض حوالي 132 طن/السنة من الانبعاثات الهيدروكربونية المتطايرة في مصفاة ميناء عبد الله.
- تحديد وإصلاح العديد من النقاط المحتمل حدوث تسرب فيها.

4-1-2: تجربة شركة أرامكو السعودية في خفض الانبعاثات المتسربة من منشأة شدقم لمعالجة الغاز الطبيعي

في إطار خطتها لتحسين التزامها بمتطلبات التشريعات البيئية الخاصة بحماية البيئة من التلوث، نفذت شركة أرامكو السعودية برنامجاً لكشف وإصلاح الانبعاثات المتسربة من الصمامات وتوصيلات خطوط الأنابيب، ومحاور المضخات والضواغط LDAR[1]، في منشأة شدقم لمعالجة الغاز الطبيعي، في المملكة العربية السعودية بهدف تخفيضها إلى المعدلات التي تحددها التشريعات البيئية في المملكة، وهي أقل من 500 جزء في المليون للملوثات الهوائية الخطرة HAP[2]، وأقل من 10000 جزء في المليون للمركبات العضوية الطيارة VOC[3].

- **مراحل تنفيذ البرنامج**

تتكون منشأة شدقم من وحدات لمعالجة الغاز الطبيعي، وإنتاج الغاز الجاف،

[1] Leak Detection and Repair
[2] Hazardous Air Pollutants
[3] Volatile Organic Compounds

وسوائل الغاز الطبيعي، والكبريت، وقد تم تنفيذ البرنامج وفقاً للمراحل التالية:

- تحديد مصادر الانبعاثات المتسربة من المجموعات الرئيسية التالية:
  - ✓ تسربات المعدات، كالصمامات، والتوصيلات، وموانع تسرب محاور المضخات والضواغط، ومجمعات أخذ العينات، وخطوط الأنابيب ذات الطرف المفتوح، وصمامات الأمان.
  - ✓ التبخر الناتج عن عمليات تحميل وتفريغ المنتجات النفطية السائلة.
  - ✓ الأبخرة الناتجة عن انسكاب السوائل الهيدروكربونية على الأرض.
  - ✓ انبعاثات عمليات التكرير والمعالجة التي لا يمكن التقاطها.
  - ✓ انبعاثات وحدات معالجة المياه الملوثة، ووحدات معالجة النفايات.
- تثبيت علامات مميزة على كافة النقاط المراد مراقبتها، وإعطائها رقم تصنيف خاص Bar Code.
- إعداد استمارات لتوثيق بيانات المراقبة، وتخزينها إلكترونياً في قاعدة البيانات الخاصة بالبرنامج.
- تثبيت أجهزة التحليل والقياس والمراقبة على النقاط المراد اختبارها للبدء بتحديد معدلات الانبعاثات من كل نقطة.
- إجراء عمليات الإصلاح للنقاط التي أظهرت نتائج المراقبة أن معدل التسرب فيها يزيد عن الحد المسموح.
- إعداد التقارير التي تتضمن معدل التسرب في كافة النقاط المحددة، وتوزيعها عبر البرنامج الحاسوبي إلى الجهات المعنية.

- **نتائج تنفيذ البرنامج**

أظهرت نتائج تنفيذ برنامج الكشف عن التسرب ومعالجته في معمل شدقم

لمعالجة الغاز الطبيعي وجود 153 نقطة يزيد فيها معدل التسرب عن القيم المسموحة، من مجموع 2016 نقطة شـــملها برنامج المراقبة، أو ما يعادل 7.6% من إجمالي النقاط. كما تبين من خلال تقييم نتائج تنفيذ البرنامج تحقيق الفوائد التالية:

- ✓ تحســين ربحية المنشــأة من خلال تخفيض الخســارة الناتجة عن فقدان المواد الهيدروكربونية الثمينة التي كانت تتسرب من المعدات.
- ✓ تخفيض احتمالات وقوع حرائق ناتجة عن تســرب الســوائل الهيدروكربونية القابلة للاشتعال.
- ✓ المساهمة في تحسين جودة الهواء في المنشأة، وفي المناطق السكنية المجاورة.
- ✓ المســاهمة في تخفيض تركيز الأوزون الموجود على مســتوى الأرض، والذي يعتبر من الملوثات الخطرة على صحة الإنسان.
- ✓ تطوير برامج الصيانة الدورية والوقائية المطبقة في المنشأة.
- ✓ المســاهمة في مســاعدة المنشــأة على الامتثال لمتطلبات التشــريعات الخاصــة بحماية البيئة من التلوث.

4-2: أمثلة لمشاريع خفض انبعاثات مصافي النفط في مناطق العالم

بدأت مصــافي النفط في العالم بتطبيق إجراءات خفض الانبعاثات الملوثة للبيئة منذ سـبعينيات القرن المنصـرم، وذلك لتلبية متطلبات التشـريعات البيئية في تلك الفترة والتي نتجت عن تطور الأبحاث العلمية التي أظهرت خطورة الملوثات الغازية على صحة الإنسان والبيئة. وفيما يلي بعض الأمثلة لمشاريع خفض الانبعاثات في مصافي العالم.

4-2-1: تجربة تخفيض الانبعاثات في مصفاة إنجين- جنوب أفريقيا

تقع مصـفاة إنجين Engen وسـط مدينة دوربان الصـناعية التي تعاني من مشــكلات تلوث هوائي خطيرة، لاحتوائها على أكثر من مائة مصــنع معظمها يطرح

كميات كبيرة من الملوثات على ارتفاعات منخفضة. كما يحيط بموقع المصفاة تجمعات سكنية من كافة الجهات، مما جعلها عرضة للاتهام حول ضعف أدائها البيئي بشكل مبالغ فيه.

تبلغ طاقة المصفاة التكريرية 125 ألف ب/ي، من مزيج النفط الخام الثقيل والخفيف، وتحتوي على وحدات تكسير بالعامل الحفاز المائع FCC، وكسر اللزوجة، التي تتميز بأنها من العمليات التي تطلق كمية كبيرة من الملوثات إلى الهواء الجوي، إضافة إلى وحدات التقطير الجوي والفراغي والمعالجة الهيدروجينية، ومجمع إنتاج زيوت التزييت، ووحدة إنتاج مذيبات عطرية BTX (Alan, M., 2005)

- **أهداف خطة تخفيض الانبعاثات**

وقعت إدارة مصفاة إنجن اتفاقا مع إحدى الشركات المحلية لتنفيذ برنامج مدته خمس سنوات، تتعهد فيه الشركة بتخفيض كمية الانبعاثات الأكثر خطورة، وذلك من خلال الإجراءات التالية:

- ✓ **إجراءات بسيطة،** تتضمن تركيب أجهزة رصد ومراقبة، وحساب المعدلات السنوية للانبعاثات الغازية قبل تنفيذ البرنامج، واتخاذ الإجراءات التي يمكن تنفيذها اعتماداً على الإمكانيات المحلية للمصفاة، وبتكاليف بسيطة، كتغيير نوع الوقود المستخدم في الأفران والمراجل البخارية، وتطبيق برامج الصيانة الدورية، وبرنامج الكشف عن التسرب وإصلاح العطل LDAR، وذلك للحد من الانبعاثات المتسربة من الأجهزة والمعدات والصمامات.
- ✓ **إجراءات متوسطة الأجل،** تتضمن تركيب أجهزة ومعدات تساعد على تخفيض كمية الانبعاثات، كاستبدال حراقات الأفران والمراجل بأنواع متطورة تساهم في تخفيض انبعاثات أكاسيد النيتروجين، وهي إجراءات تحتاج إلى استثمارات متوسطة، ومدة زمنية قصيرة نسبياً.

- ✓ **إجراءات طويلة الأجل**، وهي إجراءات تحتاج إلى استثمارات باهظة، ومدة زمنية طويلة، كتعديل تصميم الوحدات الإنتاجية، وإنشاء وحدات جديدة تساعد على تخفيض انبعاثات المصفاة، إضافة إلى تطبيق خطة للمراقبة الدائمة والتدقيق المستمر لمصادر التلوث، ورفع التقارير الدورية إلى الجهات الحكومية، وإدراج النتائج في موقع المصفاة على الشبكة الإلكترونية لإتاحة الفرصة للجمهور أن يطلع عليها ويشارك في آرائه وملاحظاته.

- **نتائج تطبيق البرنامج**

تميزت خطة تنفيذ البرنامج بالتأكيد على أهمية نشر الوعي البيئي لدى العاملين من خلال الدورات التدريبية المكثفة، والتركيز على أهمية دور الكادر البشري إضافة إلى الجانب التقني، حيث تأكد للإدارة في المراحل الأولى لتطبيق البرنامج أن الإجراءات الفنية والمعدات لا يمكنها أن تحقق الأهداف المرجوة منها إذا لم تترافق مع تحسين الوعي البيئي والمستوى الفني للعاملين في المصفاة. وتتلخص النتائج الإيجابية التي أمكن الحصول عليها من المرحلتين الأوليتين على النحو التالي:

- ✓ تخفيض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكبريت بمعدل 65%، وهي قيمة أدنى من الحد الأقصى الذي حددته الهيئة المحلية لمراقبة التلوث الهوائي، نتيجة تغيير نوع الوقود المستخدم في أفران المصفاة من زيت الوقود الثقيل إلى غاز المصفاة النظيف والمعالج. يبين الشكل 4-7 معدل خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت في مصفاة إنجين بتأثير تغيير نوع الوقود.
- ✓ تخفيض انبعاث الجسيمات الدقيقة بمعدل 70%
- ✓ تخفيض انبعاث المركبات العضوية الطيارة VOC إلى معدلات أخفض من القيم المحددة في المعايير العالمية المعتمدة.
- ✓ تخفيض انبعاث أكاسيد النيتروجين بمعدل 35%.

- ✓ خفض كمية الغازات المحترقة في منظومة الشعلة.
- ✓ تحســين الرؤية، مما يدل على حدوث تخفيض ملحوظ في معدل التلوث الهوائي في محيط المصفاة.

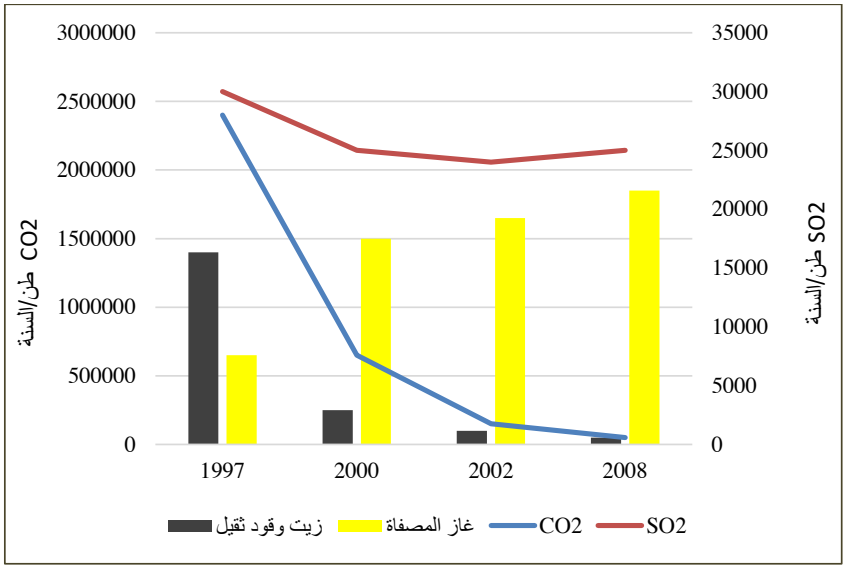
يبين الجدول 4-4 نتائج مراقبة تركيز المركبات العضــوية الطيارة في الهواء الجوي المحيط بالمصفاة.

الجدول 4-4: نتائج مراقبة تركيز المركبات العضوية الطيارة في جو المصفاة
(ملغ/م^3)

المادة	المتوسط	القيمة القصوى	الحد المسموح
بنزين	0.004	0.005	0.01
تولوين	0.030	0.037	0.26
كزايلين	0.017	0.026	0.87
إيثيل بنزين	0.004	0.005	2.2

المصدر: Thambiran, T., and Roseanne D., 2011

الشكل 4-7: معدل تخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت في مصفاة إنجين نتيجة تغيير نوع الوقود المستخدم في المصفاة



المصدر: Thambiran, T., and Roseanne D., 2011

4-2-2: منظومة إدارة البيانات البيئية في مصفاة تكساس

إن كثرة عمليات التكرير، وتباعد مواقعها في مصفاة تكساس في الولايات المتحدة الأمريكية، جعل عملية مراقبة انبعاثات المركبات العضوية الطيارة صعبة جداً، وتحتاج إلى جهود كبيرة لكي تحقق المصفاة التزامها بمتطلبات التشريعات البيئية التي تفرضها السلطات المحلية، فضلاً عن ارتفاع الطاقة التكريرية للمصفاة التي تبلغ 460 ألف ب/ي من النفط الخام، إضافة إلى المجمع البتروكيماوي التابع لها، الذي يعتبر أيضاً من أكبر المصانع المنتجة للزايلين والميتازايلين في العالم، وهذا ما دفع القائمين على المصفاة إلى تصميم منظومة إلكترونية لإدارة بيانات الانبعاثات[1] لتسهيل عمليات المراقبة، وحساب كمية الانبعاثات، وإعداد التقارير وأرشفتها ضمن سجلات يمكن العودة إليها بسهولة عند الحاجة.

- **مراحل تنفيذ المشروع**

استغرق تنفيذ المشروع ستة أشهر وعلى مرحلتين، مرحلة التحضير، ومرحلة التركيب والتشغيل.

- ✓ **مرحلة التحضير:** قام فريق العمل المكلف بمتابعة تنفيذ المشروع في هذه المرحلة بمراجعة كافة نصوص التشريعات البيئية المحلية المتعلقة بتخفيض الانبعاثات الغازية من مصافي النفط، إضافة إلى دراسة مصادر المعلومات حول طرق حساب كمية الانبعاثات. بعد ذلك أجريت عملية تدقيق للبيانات بواسطة عملية المحاكاة Simulation للتأكد من أن الحسابات تحقق الغاية المطلوبة قبل البدء بتركيب الأجهزة في الموقع.
- ✓ **مرحلة التركيب والتشغيل:** بعد استكمال كافة البيانات والمعلومات اللازمة، وتأمين تجهيزات البنية التحتية للمنظومة، انتقل فريق العمل إلى التركيز

[1] Emissions Data Management System

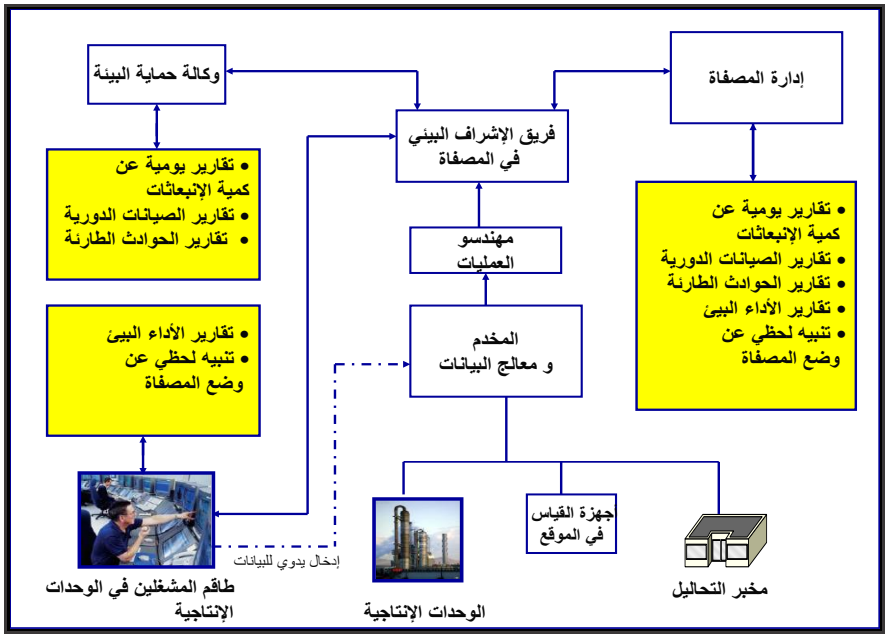
على عملية التركيب والربط المباشـر للمنظومة مع أجهزة التحكم والمراقبة في وحدات التكرير العاملة في المصفاة.

- **مكونات منظومة إدارة البيانات البيئية**

تضـمنت عملية إعداد منظومة إدارة البيانات البيئية في مصـفاة تكسـاس كلاً من الخطوات والإجراءات الرئيســية التالية: يبين الشــكل 4-8 مكونات منظومة إدارة البيانات البيئية في مصفاة تكساس.

- ✓ تجميع المعلومات الواردة من قراءات أجهزة التحكم في الوحدات الإنتاجية عن ظروف التشــغيل، ونتائج التحاليل المخبرية، وأجهزة قياس وتحليل الانبعاثات المركبة في موقع المصفاة.
- ✓ معالجة البيانات لتحويلها إلى تقارير قابلة للتحليل والقراءة.
- ✓ تحويل البيانات إلى مهندســي العمليات لدراســتها واتخاذ القرارات المناســبة لتعديل الانحراف أينما وجد، ثم إرســالها إلى فريق حماية البيئة. تبع ذلك توزيع التقارير إلى إدارة المصــفاة ووكالة حماية البيئة، وطاقم تشــغيل الوحدات الإنتاجية.
- ✓ عرض البيانات على ملصــقات في غرفة التحكم لإتاحة الفرصــة للمشــغلين للاطلاع على مدى الامتثال بمتطلبات التشــريعات البيئية، والعمل على اتخاذ الإجراءات التصــحيحية قبل تفاقم المشــكلة في حال حدوث أي انحراف عن الشروط النظامية.

الشكل 4-8: مكونات منظومة إدارة بيانات الانبعاثات في مصفاة تكساس



- **نتائج تشغيل المنظومة**

بعد تشـغيل المنظومة واسـتقرار ظروف عملها، اسـتطاعت إدارة المصـفاة الحصول على فوائد عديدة، أهمها:

✓ تحسين جودة بيانات التقارير الدورية التي ترفع إلى الجهات الحكومية حول الانبعاثات التي تطلقها المصفاة، واختصار الزمن اللازم لإعدادها.

✓ تسـهيل عملية الاطلاع على ظروف تشـغيل وحدات المصـفاة، مما يمكن المشـغل من اتخاذ القرارات الفورية اللازمة لمعالجة الانحرافات قبل تفاقم المشكلة.

4-2-3: شروط ترخيص إنشاء مصفاة أريزونا - الولايات المتحدة الأمريكية

يبين المثال التالي ملخصـاً لأهم الشـروط التي وضـعتها هيئة حماية البيئة لمنح ترخيص إنشاء مصفاة نفط جديدة في ولاية أريزونا في الولايات المتحدة الأمريكية.

- **خصائص المصفاة المقترحة**

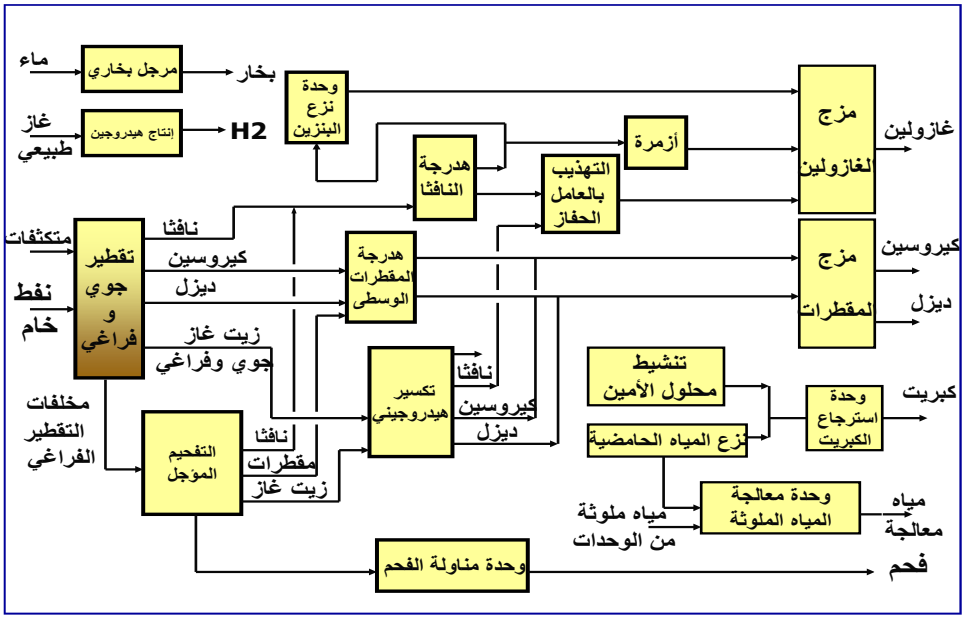
تبلغ الطاقة التكريرية للمصفاة المقترحة 150 ألف ب/ي، وتنتج 85 ألف ب/ي غازولين، و35 ألف ب/ي وقود ديزل، و30 ألف ب/ي وقود طائرات نفاثة، إضافة إلى وقود المحركات، وغاز البترول المسال LPG، والكبريت، والفحم البترولي.

صممت المصفاة لإنتاج مشتقات تتوافق مع أحدث متطلبات الوقود الأنظف، وجهزت بأحدث وأفضل التقنيات المتطورة للحد من الانبعاثات الملوثة للبيئة إلى الهواء الجوي.

تزود المصفاة باللقيم (النفط الخام، والمتكثفات، والغاز الطبيعي) عبر خطوط أنابيب. أما المواد الخام الأخرى كالبيوتان، والبروبان، والألكيلات، والأوكسجينات، فتنقل إلى المصفاة بواسطة القطار. كما يرحل الغازولين المنتج من المصفاة عبر خطوط الأنابيب والقطار والشاحنات البرية، أما باقي المنتجات، مثل الغاز البترولي المسال، والفحم البترولي، والكبريت فترحل بواسطة القطار فقط.

تحتوي المصفاة على مجموعة من وحدات التكرير، أهمها وحدة تقطير، ووحدة تفحيم مؤجل، ووحدة تكسير هيدروجيني، ووحدة هدرجة مقطرات وسطى، ووحدة تهذيب بالعامل الحفاز، ووحدة تحويل البيوتان، ووحدة نزع عطريات، ووحدة أزمرة، إضافة إلى الوحدات المساندة، مثل وحدة فصل الغازات، ووحدة إنتاج الهيدروجين، ووحدة استرجاع الكبريت، ووحدة تنشيط محلول الأمين، ووحدة معالجة المياه الحمضية، ووحدة معالجة المياه الملوثة، وخزانات للمشتقات النفطية، ومنظومة تحميل للمشتقات، والشعلات، وأبراج مياه تبريد، ومولدات الطاقة الكهربائية للطوارئ، ومضختا مياه الإطفاء في الحالات الطارئة. يبين الشكل 4-9 مخطط سير عمليات مصفاة أريزونا.

الشكل 4-9: مخطط سير عمليات مصفاة أريزونا



- **خطة اختيار أفضل التقنيات لتخفيض الانبعاثات**

تضـــمنت خطة اختيار أفضـــل التقنيات الممكنة لتخفيض انبعاثات المصـــفاة المراحل الرئيسية التالية:

- ✓ مراجعة تقنيات تخفيض الانبعاثات المتبعة في مصـــافي نفط مشـــابهة في مناطق مختلفة من العالم، إضـــافة إلى المصـــافي القائمة في كافة أنحاء الولايات المتحدة الأمريكية.
- ✓ إعداد قائمة بالحدود القصـوى لكمية الانبعاثات التي سـتطلقها المصـفاة إلى الجو، اعتماداً على أقصى درجة يمكن الحصول عليها لتخفيض الانبعاثات، مع الأخذ بعين الاعتبار الجدوى الفنية، والانعكاسـات البيئية والاقتصـادية، ومعدل استهلاك الطاقة، وتكاليف أخرى.
- ✓ إعداد الدليل التوضـيحي الذي سـيرفع إلى الجهة الحكومية للحصـول على الموافقة على إنشاء المصفاة.

- **شروط منح ترخيص إنشاء المصفاة**

بعد مناقشة استغرقت حوالي ست سنوات لطلب ترخيص إنشاء مصفاة أريزونا، وعرض الموضوع على الجمهور للمناقشة وإبداء الملاحظات والرد عليها، أصدرت الهيئة الحكومية موافقة مبدئية مرفقة بشروط عديدة، يجب أن تتعهد إدارة المصفاة بالالتزام بتنفيذها قبل الحصول على الموافقة النهائية، وفيما يلي أهم هذه الشروط:

- ✓ عدم الموافقة على إنشاء وحدة تكسير بالعامل الحفاز المائع FCC، باعتبارها من أكثر عمليات التكرير التي تطلق ملوثات إلى البيئة، والاستعاضة عنها بوحدة تكسير هيدروجيني، علماً أن كافة المصافي القائمة في المنطقة تقريباً تحتوي على وحدة تكسير بالعامل الحفاز المائع.
- ✓ عدم الموافقة على إنشاء وحدات ألكلة تستخدم حمض كلور الماء أو حمض الكبريت كعامل حفاز، والاستعاضة عنها بوحدة تحويل البيوتان.
- ✓ تركيب وحدة استرجاع غازات الشعلة، وعدم استخدام الشعلة كجهاز لحرق الغازات الفائضة بشكل متقطع أو مستمر، بل يجب أن يقتصر دورها على حرق الغازات في الحالات الطارئة فقط.
- ✓ عدم استخدام زيت الوقود في الأفران والمراجل البخارية كوقود، والسماح باستخدام الغاز الطبيعي والغازات المنتجة من المصفاة حصراً، مع التأكيد على ضرورة معالجتها لخفض محتواها من الكبريت إلى أدنى من 35 ج.ف.م حجماً قبل حرقها في الأفران.
- ✓ استخدام حراقات فائقة التخفيض لأكاسيد النيتروجين[1]، إضافة إلى تركيب منظومة التخفيض الانتقائي بالعامل الحفاز[2] لضمان خفض انبعاثات أكاسيد

[1] Ultra-low-NOx burner-ULNB
[2] Selective Catalytic Reduction

النيتروجين من الأفران والمراجل البخارية إلى أدنى حد ممكن.

- ✓ الالتزام بأن لا تقل كفاءة وحدة استرجاع الكبريت في المصفاة عن 99.97%، وأن لا يزيد معدل انبعاثات SO_2 من هذه الوحدة عن 33.6 رطل/الساعة.
- ✓ التأكيد على أن تتخذ المصفاة كافة الإجراءات الممكنة لتخفيض انبعاثات SO_2 في حالات اضطراب أو انحراف ظروف عمل وحدة استرجاع الكبريت[1]، ومن هذه الإجراءات توقيف كافة الوحدات التي تنتج المواد الكبريتية الداخلة إلى الوحدة خلال 15 دقيقة، أو تركيب وحدة إضافية بحيث يتم تشغيلها خلال 24 ساعة من بدء اضطراب عمل الوحدة الرئيسية. وتعتبر هيئة حماية البيئة أن هذا الإجراء ضروري جداً لأن معدل انبعاث SO_2 في هذه الحالة يزداد بمعدل أربعة آلاف ضعف عن القيمة النظامية.
- ✓ تركيب وحدة لاسترجاع الأبخرة الهيدروكربونية المنطلقة من خزانات بعض المنتجات النفطية، وتدويرها إلى وحدات المصفاة، بحيث ينخفض معدل الانبعاثات من هذه الخزانات إلى الصفر، وتركيب تجهيزات أكسدة حرارية للتحكم بانبعاثات المركبات العضوية الطيارة المنطلقة من خزانات السطح العائم الأخرى.
- ✓ استخدام تجهيزات أكسدة حرارية للتحكم بانبعاثات المركبات العضوية الطيارة المنطلقة من كل وعاء من أوعية وحدة معالجة المياه الملوثة، ومنظومة تحميل الغازولين والديزل بالشاحنات والقطارات، وبحيث لا تقل كفاءة هذه الأجهزة عن 99.9%، وأن يكون عملها مستمراً.

[1] Sulphur Recovery Unit

- ✓ استخدام حراقات منخفضة أكاسيد النيتروجين في تجهيزات الأكسدة الحرارية المستخدمة للتحكم بانبعاثات المركبات العضوية الطيارة، بهدف تخفيض انبعاث أكاسيد النيتروجين منها.
- ✓ إلزام المصفاة بتطبيق برنامج صارم للكشف عن التسربات وإصلاحها[1] والذي يهدف إلى منع انبعاث المركبات العضوية الطيارة من المعدات كالصمامات والمضخات والتي يبلغ عددها أكثر من 60000 قطعة، مع التأكيد على المتطلبات التالية:
  - إدراج المعدات ضمن قائمة الإصلاح عندما يصل معدل التسرب إلى 100 ج.ف.م في بعض المعدات، و500 ج.ف.م في البعض الآخر، في حين يطلب من أغلب المصافي القائمة في المنطقة أن تقوم بالإصلاح عندما يصل تركيز التسرب إلى 10000 ج.ف.م، أي أعلى بعشرين إلى مائة ضعف عن النسبة المعتمدة في التشريعات السائدة.
  - إلزام المصفاة بمباشرة عمليات إصلاح تسرب الهيدروكربونات خلال 24 ساعة، وبحيث يتم إنجاز عملية الإصلاح خلال مدة زمنية لا تتجاوز السبعة أيام.
- ✓ تركيب أجهزة مراقبة مستمرة على أبراج مياه التبريد لرصد أي تسرب أو انبعاثات للمركبات العضوية الطيارة، وإجراء الإصلاحات اللازمة بالسرعة الممكنة.
- ✓ استخدام الديزل الحاوي على نسبة منخفضة جداً من الكبريت ULSD كوقود في مولدات الطاقة الكهربائية الاحتياطية، ومضخات مياه الإطفاء التي تستخدم أثناء الحالات الطارئة، وتجهيزها بمعدات تحسين جودة الاحتراق.

[1] Leak Detection and Repair (LDAR)

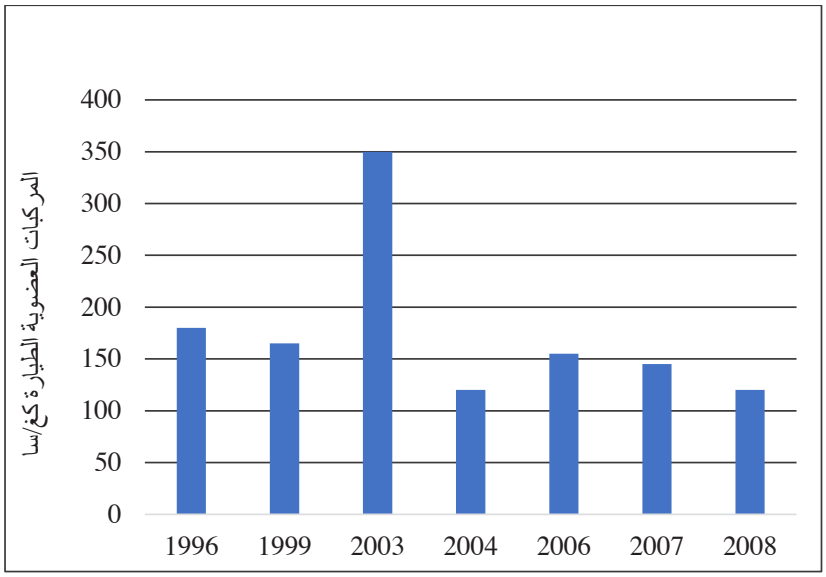
4-2-4: خطة خفض انبعاثات مصفاة غوثنبرغ

أنشئت مصفاة غوثنبرغ Gothenburg في السويد عام 1947 وبدأت بالإنتاج عام 1949 لتكرير نفط خام منخفض الكبريت، مستورد من بحر الشمال، بطاقة تكريرية قدرها 100 ألف ب/ي، وتعود ملكيتها إلى شركة شل Shell الهولندية.

تتكون المصفاة من ثلاث وحدات تقطير جوي، ووحدة تقطير فراغي، ووحدات معالجة هيدروجينية للمنتجات الوسطى، ووحدة تكسير حراري، ووحدتي تهذيب بالعامل الحفاز، إضافة إلى الوحدات المساندة. (Oden, H., 2010)

في عام 1996 بدأت مصفاة غوثنمبرغ بتطبيق برنامج لخفض انبعاثات المركبات العضوية الطيارة VOC التي كانت تتسرب من الصمامات وتوصيلات الأنابيب والمضخات والضواغط، وقد رصدت أجهزة القياس انخفاضاً ملحوظاً في كمية الانبعاثات باستثناء عام 2003 حيث أطلقت المصفاة حوالي 350 كغ/الساعة من المركبات العضوية الطيارة مقارنة بحوالي 110 كغ/الساعة في عام 2008، وبمعدل يفوق المستويات التي كانت عليه في السنوات السابقة. ويعود السبب في ذلك إلى توقف اضطراري لوحدات المصفاة لمدة أسبوعين قبل استئناف عملية الرصد والمعالجة. يبين الشكل 4-10 تطور انبعاثات المركبات العضوية الطيارة من كافة نقاط مصفاة غوثنمبرغ خلال الفترة 1996– 2008.

الشكل 4-10: توزع انبعاثات المركبات العضوية الطيارة من كافة نقاط مصفاة غوثنمبرغ خلال الفترة 1996 -2008



المصدر: Oden, H., 2010

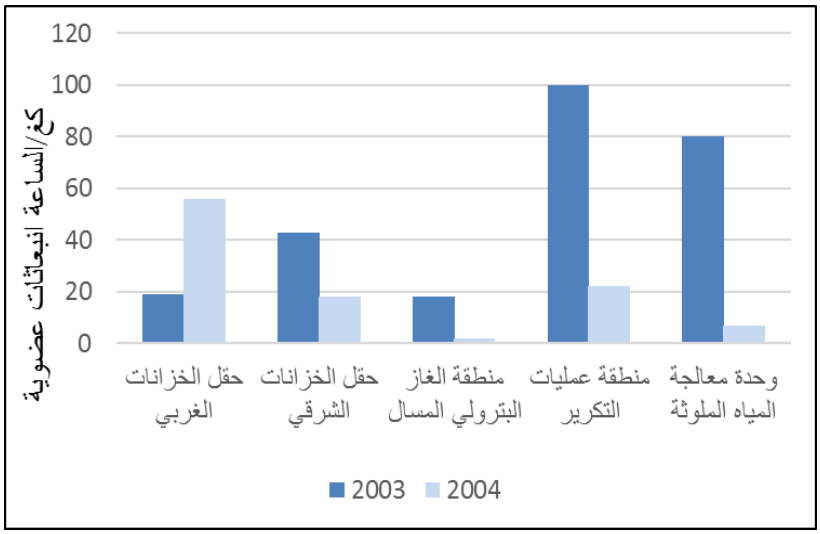
وللحد من الانبعاثات أعدت إدارة المصـــفاة خطة لخفض هذه الانبعاثات، وذلك بتطبيق نوعين من الحلول، الأول داخلي والثاني خارجي. تتضـــمن الحلول الداخلية إجراء كشـــف دوري على كافة الصـــمامات والتوصـــيلات وموانع تســـرب محاور المضخات والضواغط وإجراء الإصلاحات اللازمة للحد من تسرب الهيدروكربونات. أما الحلول الخارجية فتتكون من الإجراءات التالية:

- ✓ إنشـــاء وحدة اســـترجاع للغازات المتســـربة من محطة تحميل وتفريغ الإيثانول والغازولين الحاوي على الإيثانول.
- ✓ تركيب وحدة ترشـــيح لتنقية انبعاثات خزانات النفط الخام، تتكون الوحدة من ثلاث مرشحات تحتوي على الكربون الفعال.
- ✓ إنشاء وحدة استرجاع لغازات الشعلة لاستخدامها كوقود في أفران المصفاة بدلاً من حرقها.

- **نتائج خطة خفض انبعاثات المصفاة**

ساهم تطبيق خطة خفض انبعاثات المصفاة في توفير حوالي 733 جيجا وات في الساعة نتيجة استخدام الهيدروكربونات المتسربة المسترجعة في محطات تسخين المياه، وهذه الكمية تعادل حوالي 20% من الطاقة اللازمة لتسخين المياه المستخدمة في الشبكة العامة لمياه تدفئة مدينة غوثنبرغ. يبين الشكل 4-11 مقارنة معدل انبعاثات المركبات العضوية الطيارة قبل وبعد تنفيذ خطة خفض الانبعاثات.

الشكل 4-11: مقارنة معدل الانبعاثات قبل وبعد تنفيذ خطة خفض الانبعاثات



المصدر: Oden, H., 2010

4-2-5: مشروع تطوير مصفاة باين بيند

أعلنت شركة فلينت هيلز ريسورسيس Flint Hills Resources عن خطة لتطوير مصفاة باين بيند Pine Bend في مدينة روزماونت Rosemount بولاية مينيسوتا Minnesota، طاقتها التكريرية 339 ألف ب/ي، بكلفة 750 مليون دولار أمريكي.

تبعد المصفاة مسافة ميل واحد عن نهر المسيسيبي، وتشغل مساحة تقدر بحوالي 6000 فدان. يحدها من الجهات الأربعة تجمعات سكنية على بعد يتراوح بين 4-8 ميل، إضافة إلى بعض التجمعات الصغيرة المجاورة تماماً للموقع يشغلها العاملون في المصفاة. (Brelsford, R., 2016)

- **وصف المشروع**

يتكون مشروع تطوير مصفاة باين بيند من ثلاث أجزاء رئيسية، يهدف الجزء الأول إلى تطوير وحدة التفحيم، والثاني لتعزيز إنتاج الديزل، والثالث لتعزيز إنتاج الغازولين، وذلك على النحو التالي:

✓ **مشروع تطوير وحدة التفحيم**، ويتكون من استبدال وحدتي تفحيم مؤجل قديمتين، يعود تاريخ إنشائهما إلى ستينيات القرن الماضي، بوحدة جديدة متطورة ذات فرن واحد يتميز بكفاءة أعلى، ومزود بكاشط انتقائي SCR، وحراقات منخفضة أكاسيد النيتروجين Low NOx Burners، إضافة إلى مسخن لهواء الاحتراق لخفض استهلاك الوقود من خلال تحسين كفاءة استخدام الطاقة. كما سيساهم الفرن الجديد في خفض كمية الانبعاثات وتحسين كفاءة الإنتاج من خلال خفض عدد أيام التوقف اللازمة لعمليات نزع الكربون المترسب على جدران أنابيب الفرن بالبخار والماء[1].

- منظومة أوعية الفحم Coke Drum System، مركب عليها أجهزة لتحرير الضغط في وعاء الفحم إلى 2 رطل/البوصة المربعة psig.
- تطبيق برنامج كشف التسرب وإصلاحه في معدات تطوير منظومة أبراج مياه التبريد لخفض انبعاثات المركبات العضوية الطيارة VOC.

[1] إزالة الفحم من أنابيب الفرن Steam Air Decoking هي عملية تحتاج إلى توقيف الوحدة عن العمل لنزع الكربون المترسب على الجدران الداخلية لأنابيب أفران التفحيم بواسطة البخار والماء، وتتم بشكل دوري على فترات تتراوح بين 3 إلى ستة أشهر، وقد امتدت في الأفران المتطورة حتى السنتين، وفي بعض الأفران تجري العملية أثناء وجود الوحدة في العمل دون توقيف.

يبين الجدول 4-5 المعدات الجديدة والمعدلة في مشـــروع تطوير وحدة التفحيم وإجراءات خفض الانبعاثات المطبقة.

الجدول 4-5: المعدات الجديدة والمعدلة في مشروع تطوير وحدة التفحيم وإجراءات خفض الانبعاثات المطبقة

المعدات الجديدة والمعدلة	إجراءات خفض الانبعاثات
فرن التفحيم 24H-1	• تركيب خفض انتقائي بالعامل الحفاز وحراقات منخفضة النيتروجين • تصميم يرفع كفاءة استخدام الطاقة، بما في ذلك تركيب مسخن أولي
منظومة أوعية الفحم	• تخفيض ضغط الوعاء إلى أدنى من 2 رطل/البوصة المربعة قبل التفريغ
معدات مناولة الفحم	• تركيب سير ناقل مغلق لمنع تطاير جسيمات الفحم الدقيقة • المحافظة على رطوبة الفحم 8% حد أدنى
أبراج تبريد المياه الملحقة بوحدة التفحيم وأوعية برج التقطير	• تطبيق برنامج كشف التسربات وإصلاحها LDAR

المصدر: MPCA, 2016

✓ **مشروع تعزيز إنتاج الديزل**، ويتكون من تعديل وحدة التكسير الهيدروجيني القائمة لتعزيز كفاءة إنتاج الديزل الحاوي على نســـبة منخفضـــة جداً من الكبريت ULSD [1] دون الحاجة إلى تركيب أفران جديدة تشـــكل مصـــدراً إضافياً للانبعاثات. ويتكون المشروع من الأجزاء الرئيسية التالية:

- برج تقطير فراغي لزيت الغاز Gas Oil Vacuum Fractionator
- وحدة المعالجة الهيدروجينية لزيت الغاز Gas Oil Hydrotreater
- التكسير الهيدروجيني للمقطرات الوسطى Distillate Hydrocracker
- وحدة إنتاج الهيدروجين Hydrogen Plant
- منظومة المعالجة بالأمين Amine System

أما إجراءات خفض الانبعاثات المتبعة في مشـروع تعزيز إنتاج الديزل فتتركز في تركيـب منظومـة الخفض الانتقـائي بـالعـامـل الحفـاز SCR، وتركيـب حراقـات

[1] Ultra-Low Sulphur Diesel

منخفضة أكاسيد النيتروجين على الأفران، إضافة إلى تطبيق برنامج الكشف عن التسربات وإصلاحها. يبين الجدول 4-6 المعدات الجديدة والمعدلة في مشروع تعزيز إنتاج الديزل، وإجراءات خفض الانبعاثات المطبقة.

الجدول 4-6: المعدات الجديدة والمعدلة في مشروع تعزيز إنتاج الديزل، وإجراءات خفض الانبعاثات المطبقة

المعدات الجديدة والمعدلة	إجراءات خفض الانبعاثات
الأفران	• تركيب منظومة خفض انتقائي بالعامل الحفاز. • تركيب حراقات منخفضة النيتروجين
برج تقطير فراغي لزيت الغاز	• تطبيق برنامج كشف التسربات وإصلاحها LDAR
وحدة معالجة هيدروجينية	• تطبيق برنامج كشف التسربات وإصلاحها LDAR
التكسير الهيدروجيني للمقطرات الوسطى	• تطبيق برنامج كشف التسربات وإصلاحها LDAR
وحدة إنتاج هيدروجين	• تطبيق برنامج كشف التسربات وإصلاحها LDAR
منظومة المعالجة بالأمين	• تطبيق برنامج كشف التسربات وإصلاحها LDAR

المصدر: MPCA, 2016

✓ **مشروع تعزيز إنتاج الغازولين**، يهدف المشروع إلى رفع طاقة وتحسين أداء منظومة تحضير ومعالجة المكونات الأساسية لإنتاج الغازولين بدون إضافة مصادر جديدة للانبعاثات الملوثة للبيئة. ويتكون من تطوير تقنية وحدة إنتاج الهيدروجين، وتحسين عمليات إنتاج الغازولين عالي الرقم الأوكتاني، وتطبيق إجراءات خفض الانبعاثات.

- **أهداف المشروع**

يهدف المشروع إلى تعزيز قدرة المصفاة على إنتاج الوقود الأنظف، وترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها، إضافة إلى تلبية متطلبات التشريعات البيئية، من خفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين بمقدار 500 طن/السنة، وتركيب معدات أخرى جديدة للتحكم بالانبعاثات وخفض كميتها، واستبدال معدات قديمة بمعدات

متطورة، مزودة بتقنيات حديثة للتحكم بالانبعاثات، وتحسين كفاءة الإنتاج في المصفاة دون إضافة مصادر جديدة للانبعاثات الملوثة للبيئة.

- **الأثر البيئي للمشروع**

أشارت الوثائق التي رفعتها إدارة المصفاة إلى الهيئة المختصة بمنح تراخيص بناء المنشآت الصناعية الجديدة، أو تعديل المنشآت القائمة إلى أن المشروع سينتج عنه زيادة في انبعاثات المصفاة، تقدر بأكثر من 100 ألف طن/السنة، وبالتالي فإن المشروع يستوجب الحصول على ترخيص حسب متطلبات قانون الهواء النظيف المعمول به في الولايات المتحدة الأمريكية. يبين الجدول 4-7 مقارنة بين كمية انبعاثات المصفاة قبل وبعد تنفيذ مشروع التطوير.

- **إجراءات خفض الانبعاثات في مصفاة باين بيند**

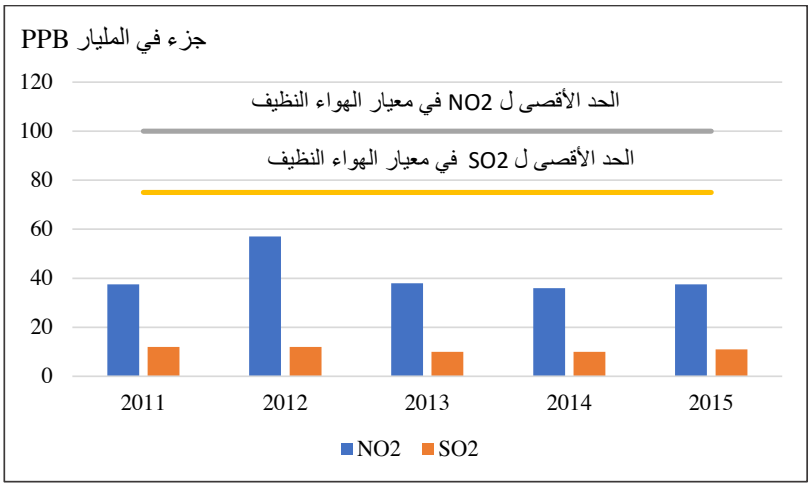
تصنف مصفاة باين بيند Pine Bend في مقدمة المنشآت الصناعية العاملة في ولاية مينيسوتي من حيث المراقبة الصارمة لتركيز الملوثات في الهواء الجوي. حيث أن إدارة المصفاة قامت منذ سنوات بتمويل مشروع تركيب وتشغيل ثلاث محطات مراقبة لرصد جودة الهواء الجوي المحيط بالمصفاة، وتسجيل أية تغيرات أو زيادة في تركيز الملوثات عن القيم القصوى المحددة في المعايير الوطنية لجودة الهواء الجوي. وقد أثبتت نتائج المراقبة أن تركيز الملوثات خلال السنوات الخمسة الممتدة من 2011-2015 أدنى من القيم المحددة في معايير جودة الهواء النظيف. يبين الشكل 4-12 تطور تركيز ثاني أكسيد الكبريت وثاني أوكسيد النيتروجين في الهواء الجوي المحيط بالمصفاة بعد تنفيذ مشروع التطوير. كما يبين الشكل 4-13 تطور أول أكسيد الكربون في الهواء الجوي المحيط بالمصفاة وبين القيم القصوى المحددة في معايير قانون الهواء النظيف.

الجدول 4-7: مقارنة بين كمية انبعاثات المصفاة قبل وبعد مشروع التطوير

الملوثات	إجمالي انبعاثات المصفاة قبل المشروع (طن/السنة) [1]	انبعاثات مشروع تطوير المصفاة (طن/السنة)	إجمالي انبعاثات المصفاة بعد المشروع (طن/السنة)	نسبة التغيير (%)
أكاسيد النيتروجين	4013.8	-421.1	3592.7	%10.5-
ثاني أوكسيد الكبريت [2]	3770.0	-32.2	3770.0	%0.0
أول أوكسيد الكربون	2476.3	-97.6	2378.7	%3.9-
الجسيمات الدقيقة	1061.2	0.1	1061.3	%0.0
الجسيمات الدقيقة PM_{10}	667.5	0.5	668.0	%0.1
الجسيمات الدقيقة $PM_{2.5}$	652.8	0.1	652.9	%0.0
المركبات العضوية الطيارة	2674	-33.6	2640.4	%1.3-
غازات الدفيئة [3]	8221963	149960	8371923	%1.8
الملوثات الهوائية الخطرة [4]	864.6	-5.2	859.4	%0.6-

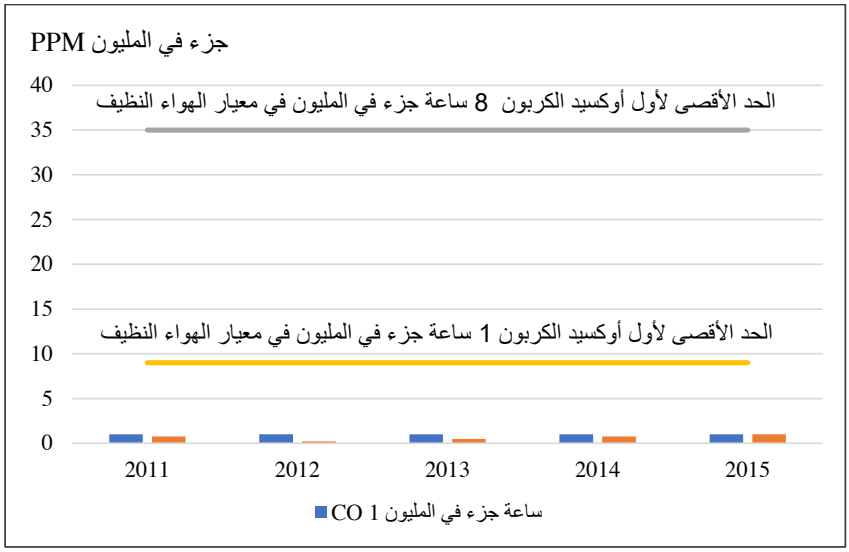
(1) تمثل كمية الانبعاثات التي تطلقها المصفاة حتى تاريخ تقديم الترخيص والمبينة في وثائق التي قدمتها إدارة المصفاة للحصول على الترخيص.
(2) هذا الرقم يمثل الحد الأقصى المسموح للمصفاة، على الرغم من الفرن الجديد سيستخدم الوقود الغازي الخالي من الكبريت إلا أن إجمالي كمية انبعاثات أكسيد الكبريت سيبقى دون تغيير 3770 طن/السنة.
(3) غازات الدفيئة تمثل الغازات التالية: (Co2)، الميثان (CH4)، أكسيد النيتروس (N2O)، سداسي فلورايد الكبريت (SF6)، هيدروفلوروكربون (HFCs)
(4) أرقام تقريبية حسبت بناء على معاملات الانبعاثات التي نشرتها وكالة حماية البيئة الأمريكية قبل تقديم الوثائق.

الشكل 4-12: تطور تركيز ثاني أكسيد الكبريت وثاني أوكسيد النيتروجين في الهواء الجوي المحيط بالمصفاة بعد تنفيذ مشروع التطوير



تركيز SO2 = القيمة القصوى خلال ساعة واحدة في اليوم
تركيز NO2 = القيمة القصوى خلال ساعة في اليوم
المصدر: MPCA, 2016

الشكل 4-13: تطور أول أكسيد الكربون في الهواء الجوي المحيط بالمصفاة وبين القيم القصوى المحددة في معايير قانون الهواء النظيف



المصدر: MPCA, 2016

لتقييم الأثر البيئي المحتمل لمشـــروع تطوير المصـــفاة، وتحديد مقدار تغير معدلات الانبعاثات نتيجة تشـغيل الوحدات الجديدة، قامت إدارة المصـفاة بإعداد تحليل نموذج توزع الهواء الجوي،[1] فتبين أن المشـروع لن يؤدي إلى ارتفاع تركيز الملوثات في الهواء الجوي المحيط بالمصفاة عن القيم المحددة في المعايير الوطنية لجودة الهواء الجوي NAAQS.

تفرض متطلبات قانون الهواء النظيف في الولايات المتحدة الأمريكية الحصول على ترخيص إقامة المنشـآت الصـناعية الجديدة، أو تطوير المنشـآت الجديدة التي ينتج عنها زيـادة في الانبعـاثـات تزيـد عن 100 ألف طن/السـنـة بـدون إجراءات التحكم بالملوثات، وعلى إدارة المنشـــأة تقديم كافة الوثائق التي تمكن الهيئة المختصـــة من مراجعة الأثر البيئي للمشـروع، والتأكد من تطبيق أفضـل الممارسـات الممكنة لخفض الانبعاثات المحتملة. وفيما يلي أهم الإجراءات التي اتخذتها إدارة مصـــفاة باينت بيند

[1] Air Dispersion Modeling Analysis

لخفض الانبعاثات المحتملة من كل من المصادر الرئيسية للوحدة والتسربات المحتملة من الخطوط والصمامات ونقاط الوصل Flanges.

✓ **إجراءات خفض انبعاثات حرق الوقود**

تتضمن إجراءات خفض الانبعاثات الناتجة عن حرق الوقود تركيب معدات الخفض الانتقائي لأكاسيد النيتروجين بالعامل الحفاز SCR على مدخنة الفرن الجديد في وحدة التفحيم، واستخدام حراقات منخفضة أكاسيد النيتروجين، بالتوازي مع استخدام وقود غازي مكون من غاز المصفاة المعالج والغاز الطبيعي، وذلك بهدف الحد من انبعاثات الجسيمات الدقيقة PM. وعدم حدوث زيادة في انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت.

صممت الأفران الجديدة وفق أحدث التقنيات التي تساهم في خفض المركبات العضوية الطيارة VOC، وأول أكسيد الكربون CO، والملوثات الهوائية الخطرة HAP التي يمكن أن تتشكل بسبب الاحتراق الناقص للوقود في الفرن. إضافة إلى تصميم ارتفاع المدخنة إلى المستوى الذي يضمن تشتيت الغازات في الهواء الجوي بشكل مناسب وفق المعايير العالمية المتبعة. كما جهزت الأفران بمعدات غسيل لغازات الاحتراق قبل خروجها من المدخنة.

وفي مشروع تعزيز إنتاج الديزل، تم تركيب معدات الخفض الانتقائي لانبعاثات النيتروجين بالعامل الحفاز SCR على مدخنة فرن وحدة إنتاج الهيدروجين القائمة، كما يتم التأكيد على استخدام الغاز الطبيعي كوقود، وضبط ظروف عمل الفرن لضمان خفض انبعاثات المركبات العضوية الطيارة VOC، وأول أكسيد الكربون CO، والملوثات الهوائية الخطرة، بطريقة مماثلة لفرن التفحيم الجديد.

✓ **إجراءات خفض الانبعاثات الهاربة Fugitive Emissions**

تنطلق الانبعاثات الهاربة من منظومة أوعية الفحم نتيجة عمليات الفتح والتنفيس والتصفية أثناء عمليات التبديل الدورية بين الأوعية لتفريغها من الفحم، بالإضافة إلى منظومة تبريد الأبخرة المنطلقة من أوعية الفحم[1]. ولتخفيف كمية انبعاثات المركبات العضوية الطيارة VOC، وأول أكسيد الكربون CO، والملوثات الهوائية الخطرة HAP المحتملة تعهدت إدارة المصفاة بالقيام بتعديل منظومة أوعية الفحم بحيث يتم خفض ضغط الوعاء إلى أدنى من 2 رطل/البوصة المربعة قبل البدء بعملية التنفيس إلى الهواء الجوي تمهيداً لفتح الوعاء وتفريغه من الفحم. وهي طريقة متطورة ومصنفة في قائمة أفضل الممارسات الممكنة لخفض انبعاثات منظومة أوعية الفحم. كما تعهدت إدارة المصفاة باستخدام مياه جديدة ونظيفة في عمليات التكسير الهيدروليكي للفحم بهدف خفض الانبعاثات الهيدروكربونية من منظومة معالجة مياه تبريد أوعية الفحم.

من جهة أخرى، تعهدت إدارة المصفاة بالالتزام بتطبيق متطلبات فقرات برنامج كشف التسرب وإصلاحه LDAR للحد من انبعاثات الهيدروكربونات الهاربة من الصمامات وموانع تسرب محاور المضخات.

✓ **إجراءات خفض انبعاثات الجسيمات الدقيقة**

لخفض معدل انبعاثات الجسيمات الدقيقة التي تنتج من عمليات تكسير الفحم ونقله من أسفل أوعية الفحم إلى مستودعات التخزين، ومحطة التحميل والشحن، تعهدت إدارة المصفاة بتركيب أحدث التقنيات المطبقة للحد من تطاير جسيمات الفحم الدقيقة في وحدة التفحيم الجديدة.

[1] Coke Drum Quench System

- **نتائج تنفيذ المشروع**

أظهرت نتائج تقييم الأثر البيئي لمشروع تطوير مصفاة باين بيند أن الإجراءات الجديدة المطبقة في المصفاة ينتج عنها خفض مهم في إجمالي انبعاثات أكاسيد النيتروجين، وأول أكسيد الكربون، والمركبات العضوية الطيارة، وثاني أكسيد الكبريت، والجسيمات الدقيقة يصل إلى 550 طن في السنة، إضافة إلى خفض الملوثات الهوائية الخطرة بمقدار 5 طن في السنة. كما أكد التقرير على استمرار تصنيف المصفاة في قمة قائمة المنشآت الملتزمة بمتطلبات قانون الهواء النظيف في ولاية مينيسوتا الأمريكية.

أما الزيادة المتوقعة في انبعاثات الأمونيا المستخدمة في منظومة الخفض الانتقائي لأكاسيد النيتروجين في الأفران فكانت ضمن الحدود المسموحة التي لا تؤدي إلى تشكل الدخان الضبابي المنطلق من المداخن، والذي يتسبب في تغيير الرؤية.

الخلاصة والاستنتاجات

تعتبر صناعة تكرير النفط من الصناعات الحيوية بالنسبة لكافة الدول الصناعية منها والنامية، نظراً لأهمية منتجاتها كسلع ضرورية لا يمكن الاستغناء عنها لاستمرار الحياة العصرية. كما تكتسب هذه الصناعة أهمية خاصة بالنسبة للدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول "أوابك" نظراً لاعتماد معظمها على تصدير المنتجات النفطية كأحد خيارات تحسين القيمة المضافة للنفط الخام.

تصنف صناعة تكرير النفط بأنها إحدى الصناعات الخطرة والملوثة للبيئة، نظراً لما تطرحه من انبعاثات غازية سامة، مما دفع الدول الصناعية المتقدمة إلى إصدار التشريعات الصارمة لتنظيم عمل مصافي النفط وإلزامها باتخاذ الإجراءات المناسبة للحد من انبعاثاتها.

شهدت الدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول "أوابك" وباقي الدول العربية منذ ثمانينيات القرن المنصرم تطوراً ملحوظاً في الوعي العام بأهمية تطوير هذه الصناعة والارتقاء بأدائها لتخفيض انعكاساتها السلبية على البيئة، فبادرت بتنفيذ مشاريع تطوير مصافي النفط وإعادة تأهيلها.

تضمنت هذه الدراسة شرحاً لبعض الأمثلة العملية لمشاريع خفض انبعاثات صناعة تكرير النفط التي تم تنفيذها في بعض الدول الأعضاء في منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول "أوابك" ومناطق العالم الأخرى. كما استعرضت أهم التقنيات التي يمكن أن تساهم في خفض معدل انبعاثات المصافي. وقد توصلت الدراسة إلى الاستنتاجات والتوصيات التالية:

1. تصنف صناعة تكرير النفط بأنها إحدى الصناعات الملوثة للبيئة، مما يؤكد ضرورة اتخاذ كافة الإجراءات الممكنة لخفض الانبعاثات التي تطلقها إلى الهواء الجوي، والاهتمام بإصدار تشريعات تنظم عمل المصافي.

2. تشـير بعض الدراسـات إلى وجود دور لانبعاثات مصـافي النفط في تشـكل المطر الحمضـي، علاوة على الروائح الكريهة التي تسـبب إزعاج التجمعات السـكنية المجاورة للمصـفاة، وخصـوصـاً في الفترات التي يرتفع فيها تركيز الانبعاثات في الهواء الجوي عندما تكون سرعة الرياح منخفضة.

3. إن التحديات الكبيرة الناشـئة عن الضـغوط التي تفرضـها التشـريعات البيئية تسـتوجب أن تقوم كل مؤسـسـة صـناعية بتأسـيس نظام لإدارة شـؤون البيئة، يساعدها على تنفيذ المهام المطلوبة بسهولة.

4. إن لتلبية متطلبات التشـريعات البيئية الخاصـة بخفض الانبعاثات الغازية انعكاسـات إيجابية وأخرى سـلبية على مصـافي النفط، فعلى الرغم من الأعباء المالية التي تتحملها المصـفاة لتركيب معدات التحكم بالانبعاثات، إلا أن هذه الإجراءات يمكن أن تسـاهم في تحسـين الربحية، وذلك من خلال اسـترجاع الغازات الهيدروكربونية المتسـربة إلى البيئة، والاسـتفادة منها كوقود بدلاً من طرحها إلى الهواء الجوي أو حرقها، علاوة على القيمة المعنوية التي تكتسـبها المصـفاة لدى الجمهور والتجمعات السـكنية المجاورة نتيجة التزامها بتلبية متطلبات تشريعات حماية البيئة من التلوث.

5. لا يمكن للإجراءات الفنيـة وتطوير المعدات أن تحقق الأهداف المرجوة من خطط خفض الانبعاثات في المصـافي إذا لم تترافق مع تحسـين الوعي البيئي والمسـتوى الفني للعاملين في المصـفاة، من خلال الاهتمام ببرامج التدريب المسـتمر للعاملين في مصـافي النفط لتطوير أدائهم في عمليات التشـغيل والصـيانة، والسـيطرة على الحوادث الطارئة التي ينتج عنها طرح الانبعاثات الخطرة إلى البيئة.

6. ضـرورة تنسـيق الجهود بين الدول الأعضـاء لتعزيز التعاون وتبادل الخبرات المحلية والإقليمية في مجال مراقبة جودة الهواء، وتقييم أسباب التلوث، واختيار

التقنيات المناسبة للتحكم بالانبعاثات، وإعداد الخطط والبرامج الوطنية لتخفيض انبعاثات مصافي النفط.

7. ضرورة إشراك الجمهور في عمليات تقييم الأثر البيئي لمصافي النفط القائمة، وعمليات منح تراخيص إنشاء المصافي الجديدة أو تطوير المصافي القائمة.

8. يعتمد نجاح عملية إعداد قائمة جرد الانبعاثات على مدى دقة البيانات المتعلقة بالملوثات التي تطرحها المصافي. وقد يكون إعداد القائمة مهمة سهلة فيما لو توفرت قاعدة بيانات إلكترونية في مواقع عمليات المصفاة.

9. الحاجة إلى دعم الأبحاث العلمية والدراسات الميدانية المتخصصة بتحديد الأثر البيئي للمنشآت الصناعية بشكل عام، ولمصافي النفط بشكل خاص، بحيث تتناول المواضيع التالية:

- ✓ دراسة الآثار الصحية لانبعاثات المصافي في المنطقة وإعداد إحصائيات وبيانات عن الحالات المرضية غير العادية، بهدف تقديمها إلى الجهات المعنية للاستفادة منها في تحديد أولويات تطبيق قرارات تخفيض الانبعاثات.
- ✓ تطوير وسائل تحديد مصادر الانبعاثات الملوثة للبيئة التي تطلقها مصافي النفط، واختيار المواقع المناسبة لتركيب معدات التحكم والمراقبة.
- ✓ المساهمة في تطوير التشريعات المتعلقة بتحديد المعدلات القصوى المسموحة لكمية الانبعاثات التي تطرحها مصافي النفط، وبما يتناسب مع الواقع البيئي وجودة الهواء في المنطقة، مع الأخذ بعين الاعتبار الانبعاثات التي تطرحها المنشآت الصناعية الأخرى المجاورة للمصفاة.
- ✓ ترتيب الأولويات في عملية إعداد البرامج الوطنية لتخفيض الانبعاثات الملوثة للهواء تبعاً لحجمها وتأثيرها على صحة المواطنين وسلامة البيئة.

10. ضـرورة الحرص عند إنشـاء مصـفاة جديدة على إعداد دراسـة لتقييم الأثر البيئي قبل منح ترخيص الإنشـاء، والتأكد من اختيار الموقع المناسـب بعيداً عن التجمعات السكنية والمناطق المكتظة بالمنشآت الصناعية، مع ضرورة التركيز على اختيار الوحدات الإنتاجية التي تطرح لأقل انبعاثات ممكنة، وعدم السـماح ما أمكن بإنشاء الوحدات التي تتميز بارتفاع معدل انبعاثاتها مهما استخدمت من تقنيات للتخفيض، مثل وحدات التكسـير بالعامل الحفاز المائع FCC ووحدات الألكلة، وذلك عندما يتوفر البديل الأفضل تقنياً واقتصادياً وبيئياً.

11. متابعة الاهتمام بنشر وتنمية الوعي العام بمشكلات التلوث البيئي وانعكاساتها على صـحة الإنسـان والبيئة، من خلال التركيز على تنظيم الندوات واللقاءات العلمية، وتبادل الخبرات في هذا المجال.

قائمـــة المراجـــع

مراجع اللغة العربية

مكي، عماد.، (2017)، **"إنتاج الوقود الأنظف في الدول الأعضاء في أوابك"** مجلة النفط والتعاون العربي- المجلد الثالث والأربعون - العدد 160 عام 2017. منظمة الأقطار العربية المصـــدرة للبترول - دولة الكويت.

مكي، عماد.، (2013) **"تطور صـناعة تكرير النفط في الدول العربية"** مجلة النفط والتعاون العربي - العدد 147 خريف 2013. منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول- دولة الكويت

مكي، عماد، (2012)، **"خيارات ترشيد استهلاك الطاقة في صناعة تكرير النفط"** مجلة النفط والتعاون العربي - العدد 142 صيف 2012. منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول- دولة الكويت

مراجع اللغة الانجليزية

Abuzahra, M., (2009) "**Carbon Dioxide Capture from Flue Gas Development and Evaluation of Existing and Novel Process Concepts"** Delft Technical University. Germany.

Akumu, J., (2015) **"Transport for Green and Exclusive Growth: Promoting Cleaner, Efficient Fuel in Africa"** AFDB. Paper presented at the first African Development Bank Transport Forum held on November 26-27, 2015 at the headquarters of the African Development Bank, in Abidjan. Available at: http://www.afdb.org/en/afdb-transport-forum-2015/about-the-forum/

Alan, M., (2005) **"Emission Reductions at Engen Refinery in South Durban, South Africa"** Paper presented at the eighth World Congress on Environmental Health, Held at International Convention Centre in Durban, 22-27 February 2004.

Alhaddad, A., Ettouney, H. & Saqer, S., (2015) **"Analysis of Air Pollution Emission Patterns in the Vicinity of Oil Refineries in Kuwait"** Chemical Engineering Department, Kuwait University, Journal of Eng. & Research Vol. 3 No. (1) Mar 2015 pp. 1-24

Al Koot, F., (2011) "**Odor Management System at KNPC"** Kuwait National Petroleum Company. Paper presented at The Middle East Downstream Week, 12th Annual Meeting, Abu Dhabi, 8-11 May 2011

BAAQMD, (2015) **"Petroleum Refinery Emissions Reduction Strategy"** Bay Area Air Quality Management District. USA.

Bashammakh, M., (2011) **"Optimal SO_2 Reduction Strategies in an Oil Refinery Based on Arabian Light Crude Oil"** Paper presented at the 21st Annual Saudi-Japan Symposium Catalysts in Petroleum Refining & Petrochemicals- Dhahran, Saudi Arabia - November 2011.

Barthe, P., et al., (2015) **"Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Refining of Mineral Oil and Gas Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control)**" Available at: https://ec.europa.eu/jrc/en/institutes/ipts

Barregard, L., Holmberg, E., & Sallsten, G., (2009) **"Leukemia: The Price of Living Close to an Oil Refinery?"** Environmental Health News. Available at: http://www.environmentalhealthnews.org/ehs/newscience/leukemia-higher-than-predicted-close-to-refinery/

Beil, A., Daum, R., Matz, G., Harig, R., (1998) **"Remote Sensing of Atmospheric Pollution by Passive FTIR Spectrometry in Spectroscopic Atmospheric Environmental Monitoring Techniques"** Klaus Schäfer, Herausgeber.

Bhatia, A., (2012) **"Improving Energy Efficiency of Boiler Systems"** PDH Center. Available at: www.pdhcenter.com.

Brajkovic, M., et al., (2014**) "Process Furnaces Improvement in Rijeka and SISAK Refinery" University** of Hungary.

Brelsford, R., (2016) **"Flint Hills' Minnesota refinery due $ 750- million overhaul"** Oil and Gas Journal Feb 15, 2016 p.10.

Bp, (2015) **"Air Emissions- Bp. Kwinana Refinery" Britch Petroleum, Western Australia.** Available at: http://www.bp.com/content/dam/bp-country/en_au/about-us/what-we-do/air-quality-brochure.pdf

CleaverBrooks, (2010) **"Boiler Emissions Reference Guide"** Available at: www.cleaverbooks.com

CCME, (2015) **"National Framework for Petroleum Refinery Emission Reductions"** Canadian Council of Ministers of the Environment. Available at: www.ccme.ca

CEA, (2015) **"Draft Guidelines for The Preparation of an Environmental Impact Statement"** Canadian National Railway Company. Canada.

De Caluwé, G. et al., (2015) "**Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries"** Prepared by the Concawe Air Quality Management Group's Special Task Force on Emission Reporting Methodologies.

Donnelly, A., et al., (2014) **"Regulating Greenhouse Gas Emissions under Section 111(D) of the Clean Air Act: Implications for Petroleum Refineries"** Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions.

Earth justice, (2015) **"Oil Refineries and Toxic Pollution"** Earth Justice Coalition, San Francisco, California, USA. Available at: www.earthjustic.org

ECE, (2014) **"Guidelines for Reporting Emissions and Projections Data under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution"** Economic Commission for Europe- Executive Body for the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.

EIA, (2016) **"Carbon Dioxide Emissions Coefficients by Fuel"** Available at: https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.cfm

EPA, (2010) **"Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from The Petroleum Industry"** Environmental Protection Agency. USA.

EPA, (2008) **"Environmental Standards for Petroleum Refineries"** Environmental Protection Agency. USA.

EMEP/EEA, (2016) **"Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016"** Technical guidance to prepare national emission inventories. European Environment Agency. Available at: www.eea.europa.eu/emep-eea-guidebook

Ergil, 2016 **"Oil, Chemical and Petrochemical Storage Tank – Internal Floating Roof"** Istanbul, Turkey. Available at: www.ergilgroup.com

Goodwin, J. & Pulles, T., (2009) **"Inventory Management, Improvement and QA/QC"** EMEP/EEA emission inventory guidebook.

Heide, B., (2008) "SNCR Process -Best Available Technology for NOx Reduction in Waste to Energy Plants" Mehldau & Steinfath Umwelttechnik GmbH.

Herzog, H., (1999) **"An Introduction to CO_2 Separation and Capture Technologies"** MIT Energy Laboratory.

IFC, (2013) **"Environmental, Health, and Safety Guidelines for Petroleum Refining"** World Bank Group. Available at: www.ifc.org/ifcext/enviro.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines

IPIECA, (2012) **"Refinery Air Emissions Management, Guidance Document for the Oil and Gas Industry" The International Petroleum Industry Environmental Conservation Association.** Operation good practice series. Available at: www.ipieca.org

Kam, E., & Mirza, Y., (2004) **"Experience in Air Emissions Inventory Development for Refineries in Kuwait National Petroleum Company"** Paper presented to OAPEC Seminar on Energy Conservation and Environmental Protection in Petroleum Industries, Held in Cairo,6-8 June 2004.

Kashyap, A., (2013) "**Air Emission Management-KNPC Experience**" The 2nd Joint Qatar-Japan Environment Symposium Sustainable Environment, Climate Change and Renewable Energy for Oil and Gas Industry" February 5-6, 2013, Doha, Qatar.

KISR, (2005) **"Work shop on Integrated Approach to Air Emissions Management in Kuwait Oil Sector"** Held On 23th May 2005 in Kuwait Institute for Scientific Research (KISR).

Kulazynski, M., (2011). "**Selective Catalytic Reduction NO by Ammonia Over Ceramic and Active Carbon Based Catalysts, Heat Analysis and Thermodynamic Effects"** Available at: http://www.intechopen.com/books/heat-analysis-and-thermodynamiceffects/selective-catalytic-reduction-no-by-ammonia-over-ceramic-and-active-carbon-based-catalysts

Lucas, R., (2002) **"Petroleum Refinery Source Characterization and Emission Model for Residual Risk Assessment"** U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park.

Mathpro, (2013) **"Effects of Possible Changes in Crude Oil Slate on the U.S. Refining Sector's CO2 Emissions"** International Council on Clean Transportation **MathPro Inc.** USA.

MPCA, (2016) **"Notice of Availability of an Environmental Assessment Worksheet (EAW) Flint Hills Resources - Pine Bend Technology and Efficiency Improvement Project"** Minnesota Pollution Control Agency. USA. Available at: www.pca.state.mn.us

North London, (2014) **"North London Heat and Power Project- Flue Gas Treatment Plant Options"** North London Waste Authority.

Oden, H., (2010) **"Treatment Technology for VOC Emissions from Oil Refineries Case Study Of Measures Taken to Minimize VOC Emissions at Swedish Petrochemical Companies to be Applied at Chinese Refineries"** KTH Royal Institute of Technology. Available at: www.ima.kth.se

Plomp, A., et al., (2015) "**Refinery Emissions from a Competitive Perspective"** The Netherlands Petroleum Industry Association (VNPI)

Ramboll, (2014) **"North London Heat and Power Project- Flue Gas Treatment Plant Options"** North London Waste Authority.

Rameshni, M., (2011) **"Carbon Capture Overview"** Worley Parsons, Monrovia, CA, USA.

Randall, D., & Coburn, J., (2010) "**Critical Review of DIAL Emission Test Data for BP Petroleum Refinery in Texas City, Texas.** RTI International Research Triangle Park, North Carolina, available at: http://www.epa.gov/ttn/atw/bp_dial_review_report_12-3-10.pdf

RCJY, (2015) **"Royal Commission Environmental Regulations"** Royal Commission for Jubail and Yanbu. Available at: https://www.rcjy.gov.sa/en-US

Reinaud, J., (2005) **"The European Refinery Industry Under the Emissions Trading Scheme; Competitiveness, trade flows and investment implications"** International Energy Agency.

Robinson, R., (2015) **"The Application of Differential Absorption Lidar (DIAL) for Pollutant Emissions Monitoring Environmental Measurements Group"** Analytical Science Division National Physical Laboratory Teddington, available at: www.npl.co.uk/environment

Ron, D., et al., (2015) **"An Overview of Technologies for Reduction of Oxides of Nitrogen from Combustion Furnaces"** MPR Associates, Inc. USA.

RTI, (2015) "**Emissions Estimation Protocol for Petroleum Refineries"** Office of Air Quality Planning and Standards. U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park.

SIEMENS, (2013) **"Control of Vapor Recovery Units (VRU)"** SIEMENS AG. Germany. Available at: www.siemens.com/processanalytics

Sloss, L., (2011) "Efficiency and emissions monitoring and reporting" IEA Clean Coal Centre. USA

Smargiassi, A., et al., (2009) **"Risk of Asthmatic Episodes in Children Exposed to Sulfur Dioxide Stack Emissions from a Refinery Point Source in Montreal, Canada".** Environment Health Perspective, Canada.

Song, L., & Hasmeyer, D., (2015) **"After Years of Inaction, EPA Tightens Toxic Air Standard for Oil Refineries"**

https://www.eia.gov/emeu/efficiency/carbon_emissions/petroleum.htm

Stevenson, E., (2015) **"Petroleum Refinery Emissions Reduction Strategy"** Bay Area Quality Management District. USA.

Thambiran,T., and Roseanne D., (2011) **"Air Quality and Climate Change Co-Benefits for the Industrial Sector in Durban "** School of Environmental Sciences, University of KwaZulu-Natal, Westville Campus, Durban 4000, South Africa.

Thomas, A., & Brian, B., (2015) **"Historical Air Emissions from United States Petroleum Refineries"** Analysis Prepared for: American Fuel & Petrochemical Manufacturers. Sage Environmental Consulting, LP.

UCS, (2011) "**Oil Refinery CO2 Performance Measurement"** Union of Concerned Scientists, Oakland, California, USA.

UNECE, (2012) **"Guidance Document on Control Techniques for Emissions of Sulphur, NOx, VOCs, Dust, Including PM10, PM2.5 and Black Carbon from Stationary Sources"**. The United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)

UNEP, (2014) **"UNEP Year Book of Emerging Issues Update: Excess Nitrogen in the Environment"** Available at: http://www.unep.org/yearbook/2014/PDF/chapt1.pdf

US-EPA, (2013) **"Addressing Air Emissions from the Petroleum Refinery, Sector Risk and Technology Review and New Source Performance Standard Rulemaking Public Outreach Presentation" US** Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, NC.

Venezia, C., (2014) **"US Shale Oil Development and Impact on Aromatics Supplies"** Argus Media Ltd. Available at: www.argusmedia.com

Wakefield, B., (2007) **"Oil Refinery Permits: A Handbook for Citizen Participation in the Permitting of Oil Refineries under the New Source Review Provisions of the Clean Air Act**" Available at: www.environmentalintegrity.org

Withinshow, D., et al., (2009) "**Air Pollutant Emission Estimation Methods for E-PRTR Reporting by Refineries"** CONCAWE Air Quality Management Group's Special Task Force on Emission Reporting Methodologies.

WSP, (2015) **"Industrial Decarbonisation & Energy Efficiency Roadmaps to 2050-Oil Refining**"__WSP and Parsons Brinckerhoff. Available at: www.dnvgl.com

AIR EMISSIONS FROM OIL REFINING INDUSTRY, ITS SOURCES AND REDUCTION MEASURES

ABSTRACT

Air emissions from oil refining industry involves many compounds, such as carbon monoxide, nitrogen oxides, sulphur oxides, volatile organic compounds, particulate matters, and other harmful substances.

Many researches illustrated that the communities living close to oil refineries face a significant health problem resulted from the air emissions, such as premature death; cancer; respiratory illness; aggravation of heart conditions and asthma.

Environmental regulations have accelerated in recent decades. Since then, refineries have made remarkable progress in cleaning up their direct and indirect emissions.

The first chapter of the study explains the major air emissions and its sources in oil refineries, while the second chapter discusses various control techniques. Emphasis is placed on combustion control for process heaters, and other process units, and how to choose the best available technology.

Chapter three discusses the role of national emission reduction plan and the environment management system in improving the performance of petroleum refinery in minimizing the emissions to the environment. It also reviews the emission inventory estimation methods used to monitor the progress toward the future reduction commitments of the refinery.

Chapter four presents some cases to show how and what technologies and solutions are being used in some oil refineries to reduce emissions in OAPEC member countries and other countries in the world.

The study concluded that oil refineries can make remarkable progress in reducing their emissions by installing control systems, optimizing the process heaters and improving energy efficiency.

منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)