منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول

أوابـــك

دور البحث العلمي في تطوير صناعة البتروكيماويات

دولة الكويت- مارس/ آذار 2021

جميع حقوق الطبع محفوظة، ولا يجوز إعادة النشر أو الاقتباس دون إذن خطي مسبق من المنظمة، 2021.

منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)

ص.ب 20501 الصفاة الكويت 13066

هاتف: 24959000 (965+) - فاكسميلي: 24959755 (965+)

P.O Box 20501, Safat- Kuwait, 13066

Tel.: (+965) 24959000 - Fax. (+965) 24959755

Website : www.oapecorg.org

Email : oapec@oapecorg.org

منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول
أوابـك

دور البحث العلمي
في تطوير صناعة البتروكيماويات

إعداد
د. ياسر محمد بغدادي
خبير صناعات نفطية

مراجعة
د. سمير محمود القرعيش
مدير إدارة الشؤون الفنية

إعتماد
سعادة الأستاذ علي سبت بن سبت
الأمين العام

دولة الكويت- مارس/ آذار 2021

مقدمة

تعد صناعة النفط والغاز والصناعات التحويلية من الصناعات ذات التقنيات العالية. وقد ساهمت التقنيات الحديثة التي تم اكتشافها وتطويرها من خلال أنشطة البحث والتطوير بشكل رئيسي في تمكين هذه الصناعات من تلبية الطلب العالمي على الطاقة، وزيادة كفاءة عمليات الإنتاج، وتحسين مواصفات وجودة المنتجات، وابتكار منتجات جديدة لتلبية رغبات المستهلكين، والحفاظ على تنافسية الصناعة في ظل تداعيات تقلبات أسعار النفط والغاز، والعوامل الجيوسياسية.

واجهت صناعة البتروكيماويات بعض التحديات في مجال القضايا البيئية، وأصبحت لإجراءات حماية البيئة أولوية قصوى في جميع أنحاء العالم، ونجحت جهود البحث العلمي في مواجهة هذه التحديات، واستوعبت صناعة البتروكيماويات بالفعل استثمارات رأسمالية كبيرة لمعالجة مشكلات تلوث مياه الصرف الصناعي، وتلوث الهواء، وغيرها من القضايا البيئية، وهي إجراءات وقائية باهظة التكلفة. وستظل الصناعة في حاجة إلى المزيد من البحث والتطوير لتتغلب على التحديات الحالية والمستقبلية.

يعتمد نجاح الشركات الرائدة في صناعة البتروكيماويات على مدى قدرتها على الاستفادة من مخرجات نتائج أبحاثها العلمية بشكل مباشر لإيجاد حلول ناجعة للمشكلات التي تواجهها، وستلعب التطورات التكنولوجية الحديثة، والابتكارات العلمية دوراً كبيراً في السنوات القليلة القادمة في محافظة الدول على مكانتها وريادتها في أسواق البتروكيماويات العالمية، وستحدث الابتكارات الجديدة تغييرات كبيرة في سلسلة التوريد ات في الصناعة، بدءاً من المواد الخام الأولية إلى المنتجات النهائية. وتعد تكنولوجيا تحويل النفط الخام إلى كيماويات من أهم التطورات الحديثة التي يمكن أن يكون لها آثار استراتيجية عميقة وتأثير مباشر في إعادة رسم المشهد العالمي لصناعة البتروكيماويات.

على الرغم من أن شركات البتروكيماويات العربية لديها حصة ضئيلة في الإنفاق على أنشطة البحث والتطوير كنسبة من عائدات مبيعاتها، إلا أنها أصبحت تولي اهتماماً متزايدا بمفهوم الابتكار سعياً للحفاظ على تنافسيتها على مستوى العالم، حيث يعتبر الابتكار حجر الزاوية لزيادة هوامش الربحية لصناعة البتروكيماويات. وقد ارتفعت نسبة الإنفاق على أنشطة البحث العلمي والتطوير من إجمالي مبيعاتها في السنوات الأخيرة، ومع ذلك فإنه يتطلب من تلك الشركات الاستمرار في أنشطة البحث والتطوير لتحسين مواصفات منتجاتها، وتحسين كفاءة العمليات الإنتاجية

تأتي أهمية هذه الدراسة في تناولها للدور الهام لأنشطة البحث العلمي والتطوير في ازدهار صناعة البتروكيماويات، وقدرته على تغيير مشهد الصناعة، ومواجهة كافة التحديات وإيجاد الحلول التطبيقية لها. تطرقت الدراسة إلى دور البحث العلمي في تمركز وهيمنة الدول الأوروبية على أسواق التكنولوجيا العالمية، بعد انحسار صناعة البتروكيماويات بها، وسلطت الضوء على مبادرات الدول العربية في مجال البحث والتطوير.

تأمل الأمانة العامة من خلال هذه الدراسة إبراز أهمية دور البحث العلمي والتطوير في استمرار تنافسية وازدهار صناعة البتروكيماويات، على أن يجد فيها المختصون من المعلومات التي يمكن أن تساعدهم على دعم أنشطة البحث العلمي والتطوير، وإعداد خطط واستراتيجيات الدعم المناسبة للمحافظة على مكانة صناعة البتروكيماويات العربية في الأسواق العالمية.

والله الموفق ،،،،،

الأمين العام

علي سبت بن سبت

قائمـة المحتويات

الموضـــــوع	رقم الصفحة
مقدمة	1
قائمة المحتويات	3
قائمة الأشكال	6
ملخص تنفيذي	8
الفصل الأول: مفاهيم التكنولوجيا، والاختراع، والابتكار	17
1. تمهيد	19
1.1 مفهوم التكنولوجيا والاختراع والابتكار Technology, Invention &Innovation	19
2.1. الحدود بين الاختراع والابتكار	23
3.1. الابتكار في صناعة البتروكيماويات	25
الفصل الثاني: تطور إنتاج الكيماويات من المصادر غير النفطية	31
2. تمهيد	33
1.2. خلفية تاريخية عن نشأة صناعة الكيماويات	33
1.1.2. إنتاج الكيماويات العضوية والبوليمرات بتكنولوجيا كربنة الخشب "Wood Carbonization"	34
2.1.2. إنتاج الكيماويات العضوية والبوليمرات من الفحم	36
1.2.1.2. إنتاج الكيماويات العضوية والبوليمرات من الكربيد / الأسيتيلين	36
1.1.2.1.2. إنتاج المطاط الصناعي من الأسيتيلين	38
2.1.2.1.2. إنتاج الفينيل كلوريد والبولي فينيل كلوريد	39
2.2.1.2. إنتاج الكيماويات العضوية الصناعية والبوليمرات من قطران الفحم "Coal Tar"	40
1.2.2.1.2. إنتاج الفينول	41
2.2.2.1.2. إنتاج الفيثاليك انهيدريد	43
3.2.1.2. إنتاج الأسمدة والكيماويات من غاز فحم الكوك الاصطناعي Coke Syngas	45
1.3.2.1.2. إنتاج الميثانول والفورمالدهيد	46
3.1.2. إنتاج الكيماويات العضوية والبوليمرات من الدهون الحيوانية والزيوت	46
1.3.1.2. انتاج راتنجات الألكيد المعدلة بالزيت Oil-Modified Alkyd Resin	47
4.1.2. إنتاج الكيماويات العضوية والبوليمرات بتقنيات التخمر	48
1.4.1.2. إنتاج البولي إيثيلين من الإيثانول الحيوي	51
2.4.1.2. إنتاج البولي ستيرين	52
5.1.2. إنتاج البيوتانول والاسيتون بالتخمر " Fermentation Acetone/Butanol"	53

قائمة المحتويات

الموضـــــوع	رقم الصفحة
الفصل الثالث: تطور صناعة البتروكيماويات	55
3. تمهيد	57
1.3. دور التكنولوجيا في صناعة البتروكيماويات	59
2.3. أسس تكنولوجيات إنتاج البتروكيماويات	61
1.2.3. تكنولوجيا تكسير النفط وتكنولوجيا إصلاح النفط "Petroleum Cracking Technology & Petroleum Reforming Technology"	62
2.2.3. تكنولوجيا التقطير المبرد " Cryogenic Distillation Technology"	62
3.2.3. تكنولوجيات إنتاج العوامل الحفازة، الضغط العالي، والتشغيل المستمر	63
4.2.3. تكنولوجيا إنتاج البوليمرات "Polymer Synthesis Technology"	65
1.4.2.3. تطور تكنولوجيا إنتاج الأوليفينات	65
1.1.4.2.3. تطور تكنولوجيا إنتاج الإيثيلين	66
2.1.4.2.3 تطور تكنولوجيا إنتاج البروبيلين	73
3.1.4.2.3 تطور تكنولوجيا إنتاج البيوتادايين	74
4.1.4.2.3 تطور تكنولوجيا إنتاج البيوتيلين "Butylenes"	75
5.1.4.2.3 تكنولوجيا إنتاج الأوليفينات الخطية العليا Higher Linear Olefin	77
3.3. التكنولوجيات ذات الصلة الداعمة لصناعة البتروكيماويات	78
1.3.3. تكنولوجيا الهندسة الكيميائية "Chemical Engineering Technology"	79
2.3.3. تكنولوجيا الاجهزة والتحكم "Instrumentation and Control Technology"	80
3.3.3. تكنولوجيا التحليل بالأجهزة "Instrumental analysis"	81
4.3.3. تكنولوجيا قولبة أو نمذجة البوليمرات "Polymer Molding Technology"	81
4.3. خصائص صناعة البتروكيماويات	83
1.4.3. جزء من ثورة الطاقة "Part of Energy Revolution"	83
2.4.3. مجمعات صناعية "Industrial Complex"	84
3.4.3. عمليات تشغيل مستمر، وضغط عالي، وعوامل حفازة " Continuous, High-Pressure, Catalytic Processes"	86
4.4.3. طاقات إنتاجية مرتفعة "Large Scale"	86
5.4.3. التوجه نحو العالمية "Internationality"	87
5.3. ثورة البتروكيماويات في أوروبا	87
1.5.3. تطور تكنولوجيا البتروكيماويات في أوروبا	88
2.5.3. دمج تكنولوجيات البتروكيماويات الأمريكية والأوروبية	91
3.5.3. نشأة صناعة البتروكيماويات في اليابان	92
6.3. نهاية ثورات البتروكيماويات في الولايات المتحدة واليابان وأوروبا	94
7.3. تطور صناعة البتروكيماويات في الصين	95
8.3. ثورة صناعة البتروكيماويات في دول منطقة الشرق الأوسط	96

قائمـة المحتويات

الموضـــــوع	رقم الصفحة
الفصل الرابع: الحلول التكنولوجية للقضايا البيئية في صناعة البتروكيماويات	99
4. تمهيد	101
1.4. تكنولوجيات موفرة للطاقة وخافضة لنسب التلوث	102
2.4. تحديات تلوث الهواء والمياه	106
1.2.4. انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من قطاع الكيماويات	106
2.2.4. الانبعاثات غير المباشرة والمرتبطة بالمنتجات الكيميائية	112
3.2.4. المشكلات الناتجة عن استخدام إضافات الغازولين	113
4.2.4. مشكلات التلوث الناتجة عن المنظفات الاصطناعية	114
5.2.4. النفايات البلاستيكية	**115**
3.4. تحديات نمو الطلب على المياه في إنتاج المواد الكيميائية الأولية	119
الفصل الخامس: تطور تكنولوجيا إنتاج البتروكيماويات والاتجاهات الحديثة	123
5. تمهيد	125
1.5. تكنولوجيا تحويل الميثانول إلى أوليفينات MTO	126
2.5. التحول إلى إنتاج البوليمرات " اللدائن" الهندسية.	130
3.5. تكنولوجيا إنتاج المونيمرات مباشرة من البارافينات	131
4.5. تكنولوجيا إنتاج محفزات الميتالوسين	131
5.5. تكنولوجيا تحويل النفط الخام إلى كيماويات Crude Oil to Chemicals (COC)	133
6.5. تكنولوجيا إنتاج البلاستيك الحيوي	134
الفصل السادس: نماذج عالمية في مجال الاستثمار في البحث والتطوير	137
6. تمهيد	139
1.6. القيمة السوقية لشركات البتروكيماويات في دول أوروبا	140
1.1.6. مؤشرات الابتكار في شركات الكيماويات الرائدة في أوروبا من حيث نشاط براءات الاختراع	142
2.6. الاستثمار في أنشطة البحث والتطوير	145
3.6. استثمارات الدول العربية في مجال أنشطة البحث والتطوير	150
1.3.6. مجالات أنشطة البحث والتطوير في قطاع الصناعات التحويلية في الدول العربية	153
الاستنتاجات والتوصيات	161
المصطلحات الفنية	164
المراجع	166
Abstract	174

قائمة الأشكال

	الشـــــكل	رقم الصفحة
الشكل (1):	نموذج الابتكار الخطي	21
الشكل (2):	مخطط مبسط لمفهوم الابتكار المفتوح	22
الشكل (3):	مخطط دورة الحياة الكاملة لتحديد الحدود بين الابتكار والاختراع	24
الشكل (4):	الجدول الزمني لتطوير عمليات صناعية جديدة في الصناعات البترولية اللاحقة	29
الشكل (5):	أهم المنتجات الرئيسية الناتجة عن عمليات كربنة الخشب	34
الشكل (6):	نمو إنتاج حمض الخليك الصناعي مقابل حمض الخليك الناتج من كربنة الأخشاب	35
الشكل (7):	محطة تجارب الأسمدة الازوتية من إنتاج شركة باسف الألمانية	37
الشكل (8):	نواتج تقطير قطران الفحم من المواد الأروماتية المختلفة	41
الشكل (9):	معدلات إنتاج الفينول الصناعي في اليابان قبل وبعد الحرب العالمية الثانية	42
الشكل (10):	تغيير حجم إنتاج الفيثاليك انهيدريد حسب المادة الخام الأولية المستخدمة بعد الحرب العالمية الثانية	44
الشكل (11):	بعض أهم الصناعات القائمة على غاز فحم الكوك الاصطناعي	45
الشكل (12):	أهم الصناعات الكيماوية القائمة على تخمر السكر- النشا	49
الشكل (13)	تطور حجم إنتاج الإيثانول في الولايات المتحدة	51
الشكل (14)	الإنتاج الصناعي للستيرين باستخدام طريقة نزع الهيدروجين من الإيثيل بنزين	53
الشكل (15):	تطور إنتاج البيوتانول في اليابان خلال الحرب العالمية الثانية	54
الشكل (16):	المجالات الأربعة التي شكلت اساس إنشاء وتطوير البتروكيماويات على نطاق واسع	61
الشكل (17):	تثبيت أول مفاعل ضغط عالي لشركة باسف في موقع " لودفيجشافن" عام 1935	64
الشكل (18):	تكنولوجيا إنتاج الأوليفينات	66
الشكل (19):	أول مصنع لعملية التكسير الحراري "شوخوف"	68
الشكل (20):	تكنولوجيا إنتاج الإيثيلين	70
الشكل (21):	مخطط التصميمات الحديثة لأنابيب التكسير بالبخار	71
الشكل (22)	مقطع داخلي لفرن التكسير الحراري بالبخار	72
الشكل (23):	منطقة أفران التكسير البخاري للإيثان في أحد المصانع الحديثة	72
الشكل (24):	تكنولوجيا إنتاج البيوتيلين	76
الشكل (25):	التكنولوجيات ذات الصلة الداعمة لصناعة البتروكيماويات	79
الشكل (26):	أول مختبر لاختبار المواد في صناعة الكيماويات عام 1912 التابع لشركة باسف	80
الشكل (27):	بداية عصر إنتاج البلاستيك بطرق الحقن في فترة الستينيات من القرن الماضي	82
الشكل (28):	خصائص تكنولوجيا صناعة البتروكيماويات	83
الشكل (29):	نموذج تكامل صناعات التكرير والبتروكيماويات في اليابان وتايلاند	85
الشكل (30):	عمليات حرق الغاز البترولي المصاحب	97
الشكل (31):	الانبعاثات والملوثات البيئية الرئيسية في صناعة البتروكيماويات	107
الشكل (32):	الطلب العالمي النهائي على الطاقة والانبعاثات المباشرة من ثاني أكسيد الكربون حسب القطاع في عام 2017.	108
الشكل (33):	تكنولوجيا اصطياد وتخزين الكربون، واستخداماته في إنتاج البتروكيماويات	111
الشكل (34):	معدلات تلوث الهواء الناتجة من إنتاج المواد الكيميائية الأولية خلال الفترة 2017-2050	113
الشكل (35):	تلوث الأنهار في الهند برغاوي المنظفات الصناعية	115
الشكل (36):	التلوث البيئي الناتج عن النفايات البلاستيكية	116
الشكل (37):	إدارة النفايات البلاستيكية في دول أوروبا	118
الشكل (38):	الطاقات الإنتاجية من المواد الكيميائية الأولية، والإجهاد المائي في الشرق الأوسط	121
الشكل (39):	إجمالي الطاقة الإنتاجية للميثانول خلال الفترة 2018-2030	127
الشكل (40):	إنتاج المناطق الرئيسية في العالم من الميثانول، والبتروكيماويات مرتفعة القيمة، والأمونيا حتى عام 2050	129
الشكل (41):	مراحل البحث العلمي والتطوير لمحفزات الميتالوسين الجديدة حتى مرحلة الإنتاج التجاري	132

قائمـة الأشـكال

	الشـــــكل	رقم الصفحة
الشكل (42):	نماذج لبعض منتجات البلاستيك الحيوي	135
الشكل (43):	القيمة السوقية لشركات الكيماويات الرائدة في أوروبا لعام 2020	140
الشكل (44):	قائمة شركات الكيماويات الأعلى مبيعات على مستوى العالم لعام 2019	141
الشكل (45):	مقارنة بين براءات الاختراع الممنوحة للصناعات الكيميائية والصناعات الرائدة الأخرى في أوروبا	143
الشكل (46):	نسب توزيع إجمالي عدد براءات الاختراع الممنوحة بين مختلف القطاعات الفرعية	144
الشكل (47):	اجمالي طلبات براءات الاختراع التي قدمتها شركات الكيماويات الرائدة العالمية إلى هيئات براءات الاختراع في خلال الفترة 2004-2014	145
الشكل (48):	الدول الرائدة من حيث إجمالي الإنفاق على نشطة البحث العلمي والتطوير في قطاع الكيماويات لعلم 2017	146
الشكل (49)	إجمالي إنفاق شركة باسف على أنشطة البحث العلمي والتطوير خلال الفترة 2010-2019	148
الشكل (50):	إجمالي إنفاق شركة أكسون موبيل على أنشطة البحث العلمي خلال الفترة 2014-2019	149
الشكل (51):	إجمالي إنفاق شركة ليندي على أنشطة البحث والتطوير في مجال الكيماويات خلال 2014-2019	150
الشكل (52):	إجمالي الأبحاث المنشورة في مجال الكيمياء في كل من قطر، والإمارات، وعمان، والكويت في عام 2015	152
الشكل (53):	إنفاق دول مجلس التعاون الخليجي على البحث والتطوير في صناعة الكيماويات (مليون دولار أمريكي ونسبة من إجمالي المبيعات)	154
الشكل (54):	نماذج لبعض منتجات شركة " بروج" المبتكرة من منتج البولي بروبيلين	156
الشكل (55):	مخطط مراحل سلسلة الامداد للأمونيا الزرقاء	158

ملخص تنفيذي

تأتي هذه الدراسة لتسليط الضوء على الدور البارز لأنشطة البحث العلمي في تطور صناعة البتروكيماويات، والتغير الديناميكي لمشهد الصناعة خلال مراحل تطورها المختلفة، ومواجهة كافة التحديات، وإيجاد الحلول التكنولوجية لها. إن رصد حركة تطور صناعة الكيماويات منذ نشأتها مروراً بتجارب الشركات الرائدة في صناعة البتروكيماويات في مجالات أنشطة البحث والتطوير سواءً في معامل التطوير لديها، أو بمشاركة التحالفات الأكاديمية في الجامعات والمعاهد المختصة، وصولاً إلى وضعها اليوم يعد توصيفاً لدور البحث العلمي والتطوير في انتشار صناعة البتروكيماويات ووصولها إلى العالمية، ودورها في مواجهة مختلف تحديات وقضايا الصناعة، وتحسين كفاءة العمليات، وجودة مواصفات المنتجات لتلبية متطلبات الأسواق ورغبات المستهلكين المستهدفين.

استهلت الدراسة في **الفصل الأول** بتعريف مفاهيم، ومصطلحات كل من الاختراع، والابتكار، والتكنولوجيا، بهدف توضيح تلك المفاهيم. تُستخدم في كثير من الأحيان مصطلحات التكنولوجيا، والاختراع، والابتكار بنفس المعنى، وهو استخدام غير دقيق حيث يختلف معنى كل مصطلح عن الآخر، فاستخدام مصطلح "التكنولوجيا" يمكن أن يقتصر على تعريف فكرة تقنية بسيطة، أو قد يتسع ليشمل كافة الأدوات، والاجراءات المتبعة، والطرق والمعدات المستخدمة لإنتاج سلعة معينة، أو تقديم خدمات بشكل خاص في مجال إدارة العمليات "Operation Management"، وهي بشكل مختصر تعني الطرق أو العمليات الصناعية المتداخلة أو المترابطة لإنتاج منتج معين. وبشكل عام يمكن تعريف التكنولوجيا على أنها "الاستخدام الأمثل للمعرفة العلمية، وتطبيقاتها، وإخضاعها لمواجهة متطلبات واحتياجات الإنسان ورفاهيته".

بينما يتضمن تعريف الاختراع، إيجاد شيء جديد لم يكن معروف من قبل، ويشمل ذلك فكرة جديدة، أو جهاز، أو مجموعة من العمليات، قد يتحول الاختراع إلى ابتكار، وقد يبقى

مجرد فكرة. لذا فإن مفهومي الاختراع، والابتكار يشتركان في فكرة إيجاد شيء جديد لم يكن معروف من قبل، وليس بالضرورة أن يؤدي الابتكار إلى تغيير في التكنولوجيا، مما يعني أن الابتكار ليس مرتبط ارتباطا مباشراً بالتكنولوجيا، كما أنه ليس من الضروري أن يحتاج الابتكار الجديد إلى اختراع جديد، فغالباً ما تعتمد الابتكارات الجديدة على اختراعات أو تكنولوجيات قديمة موجودة بالفعل.

هناك عدة نماذج لشرح مفهوم الابتكار، أولها وأبسطها هو النموذج الخطي " Linear Model"، وقد أجريت عدة تحديثات على هذا النموذج، ومنها نموذج " الدفعة التكنولوجية"- Technology Push- نتيجة بعض التغيرات التكنولوجية، وإضافة متطلبات التسويق والمبيعات بعد الإنتاج. كما تم الأخذ في الاعتبار احتياجات الأسواق، وهو ما عُرف بنموذج سحب السوق "Market Pull"، وتم فيه افتراض أن البحث والتطوير يأتي نتيجة الاحتياجات الفعلية لمتطلبات واحتياجات السوق، مع ضرورة الأخذ في الاعتبار كل من عوامل العرض والطلب "Supply & Demand". ساهمت زيادة نمو الطلب على السلع والخدمات أيضاً بدرجة كبيرة في تحفيز وتيرة الاختراعات والابتكارات.

أضيف بعد ذلك مفهوم أو نهج جديد عُرف باسم الابتكار المفتوح " Open Innovation"، والذي شجع على الانفتاح على الأفكار الخارجية التي يُمكن للمؤسسات جذبها من الخارج بجانب أفكارها الداخلية. وتعد الفكرة الأساسية لمفهوم "الابتكار المفتوح" أنه في عالم المعرفة المترامي الأطراف والمنتشر في جميع المجالات التجارية والصناعية والمجتمعية، ولا تقتصر فقط داخل حدود الشركات، فإنه لابد لهذه الشركات نقل المعرفة الخارجية ودمجها مع المعرفة الداخلية الخاصة بها " الابتكار المفتوح الداخلي - Inbound -Open Innovation-"، وأنه لا يمكن للشركات أن تتحمل الاعتماد كلياً على أبحاثها الخاصة، ولكن يجب عليها شراء أو ترخيص عمليات أو اختراعات (براءات اختراع) من شركات أخرى، وهو ما يسمى بالابتكار " المفتوح الخارجي"Outbound Innovation. يعتبر الابتكار هو حجر الزاوية لنمو وربحية صناعة البتروكيماويات، ويعرف الابتكار في صناعة

البتروكيماويات بأنه إدارة المشـــروع من بداية نشـــأة الفكرة حتى الانتهاء من مراحل تنفيذها على مستوى الإنتاج التجاري "Commercial Implementation". قد يستغرق تطوير تقنيات العمليات الصـــناعية الجديدة في قطاع البتروكيماويات فترات طويلة تمتد لأكثر من 10 سنوات.

تناولت الدراسة في **الفصل الثاني** دور البحث العلمي في نشأة وتطور صناعة الكيماويات، حيث كان يستخدم قطران الفحم ولمدة طويلة كمصدر رئيسي لإنتاج الكيماويات العضوية. ازدهر إنتاج بعض الكيماويات في الولايات المتحدة الأمريكية في أربعينيات القرن الماضي لفترة طويلة قبل ظهور صناعة البتروكيماويات، حيث أنتجت بعض المواد الكيميائية مثل الميثانول، وأحماض وأسترات وأملاح الأسيتيك، والأسيتون اعتماداً على تكنولوجيا كيمياء الأخشاب "Wood Chemistry"، وهي طرق كربنة الخشب "Wood Carbonization". كما انتشرت خلال تلك الفترة أيضاً كيمياء الفحم "Coal Chemistry"، لإنتاج غاز فرن الكوك أو ما يعرف أيضاً باسم غاز الفحم، "Coke Oven Gas or Coal Gas" الناتج من التقطير الجاف للفحم، والذي أستخدم في إنارة المدن، كما تأسست عليه صناعة الأمونيا، نظراً لاحتوائه على الهيدروجين وأول أكسيد الكربون، وهيدروكربونات أخرى تعد من المواد الأولية لإنتاج الإيثيلين، والإيثيلين غلايكول. وعُرفت أيضاً في نفس الحقبة كيمياء الدهون "Oleochemistry" لإنتاج بعض المواد الكيميائية من الدهون النباتية والحيوانية، مثل الأحماض الدهنية المستخدمة في صناعة الأدوية، والصناعات الغذائية، والمنظفات، والشموع، والصابون، والأصباغ. واستخدمت على نطاق أوسع كيمياء التخمير " Fermentation Chemistry" لإنتاج الكحول الإيثيلي "الحيوي"، والذي استخدم للخلط مع الغازولين لرفع رقم الأوكتان وتحسين أداء المحركات.

ازدهرت في نفس الوقت صـناعة وإنتاج المواد الكيميائية العضـوية وغير العضـوية في ألمانيا، بالإضـافة إلى تطوير تكنولوجيا إنتاج الزيوت الاصـطناعية على المسـتوى التجاري، وتطوير تكنولوجيا إنتاج البوليمرات، والمطاط الاصطناعي.

قبل ظهور صـــناعة البتروكيماويات فاق الاحتياج المتزايد للكيماويات المســتخدمة في إنتاج المطاط الصـــناعي، والراتنجات والألياف الصـــناعية، وغيرها من المنتجات الكيماوية بدرجة كبيرة إمكانية توفيره من الفحم والمصـــادر الأخرى. لذا فقد تجاوبت أنشـــطة بحوث البتروكيماويات مع هذه المتغيرات والتحديات لتوفير مصـــادر أخرى جديدة منخفضـــة التكلفة لتلبية نمو الطلب المتزايد من الكيماويات، وتمكنت من توفير مواد خام أولية من النفط الخام ومشتقاته، ومنذ ذلك الحين نشأت صناعة البتروكيماويات.

تناولت الدراسة في **الفصل الثالث** دور البحث العلمي في انتشار، وتطور صناعة البتروكيماويات العالمية، في حقبة العشرينيات من القرن الماضي في الولايات المتحدة، وبداية انتشارها في أوروبا في الخمسينيات، وأنه مع دمج التكنولوجيا الأوروبية مع التكنولوجيا الأمريكية، تغير بشكل كبير شكل وجودة منتجات الكيماويات. وساهم اكتشاف النفط الخام في دول الشرق الأوسط في ثلاثينيات القرن الماضي، وبداية صادراته لدول العالم في الخمسينيات، في تغيير مشهد صناعة البتروكيماويات بشكل كبير، وأصبح النفط الخام ومشتقاته مصدر أرخص للمواد الخام الأولية الازمة لصناعة البتروكيماويات من الفحم والمصادر الأخرى.

اســتفادت دول منطقة الشــرق الأوســط من ارتفاع أســعار النفط خلال الســبعينيات، ووضــعت الحكومات المعنية خططاً لتعزيز الصــناعات غير النفطية. تم تعظيم الاســتفادة من الغاز البترولي المصــاحب في تنمية الصــناعة، والذي كان مهملاً لفترات طويلة. وضــع نمو الصــناعة في منطقة الشرق الأوسط حدا لهيمنة المناطق الثلاث الرئيسية في كل من أمريكا، وأوروبا، واليابان من حقبة الخمسينيات إلى السبعينيات من القرن الماضي، وتحولت صناعة البتروكيماويات فيها بعد ذلك إلى إنتاج البوليمرات المتخصصة الهندسية، والإنشائية، وعملت على تطوير واستحداث تكنولوجيات موفرة للطاقة، ومحسنة للتلوث البيئي.

بدأت صــناعة البتروكيماويات في الانتشــار بســرعة حول العالم، وأصــبحت دول منطقة الشرق الأوسط، وخاصة دول الخليج العربي في ثمانينيات القرن الماضي قادرة على تطوير

هذه الصناعة، وزاد الإنتاج بها بشكل متصاعد، وأضافت طاقات إنتاجية جديدة، مستفيدةً بميزة وفرة مواد خام أولية منخفضة التكلفة من الغاز الطبيعي، والمشتقات البترولية السائلة، وبأسعار تنافسية، علاوة على تميز موقعها الجغرافي بين دول الشرق والغرب.

مع التوسعات الهائلة في الطاقات الإنتاجية من البتروكيماويات واجهت الدول العربية تحديات عدم كفاية الإمدادات من المواد الخام الأولية من غاز الإيثان الناتج عن غاز البترول المصاحب لمزيد من التوسعات، مما اضطرها إلى البحث عن حلول تكنولوجية، وتمثلت في تحولها إلى تنويع استخدام خليط من غاز البترول المسال والمتكثفات كمواد خام أولية للصناعة.

أشارت الدراسة أيضاً إلى أن مشروعات البتروكيماويات الحديثة تميزت بأنها مجمعات "Complex" متكاملة ذات طاقات إنتاجية كبيرة، تعتمد على استخدام أحدث التكنولوجيات التجارية، مدفوعة بميزة رخص أسعار المواد الأولية المتاحة. وتوجه عدد كبير من شركات النفط والغاز الرئيسية العالمية للعمل في صناعة البتروكيماويات وأصبحت في طليعة الشركات المطورة للصناعة، بل ومن كبار منتجي البتروكيماويات. كذلك تزايد نشاط شركات النفط الوطنية بشكل كبير في إنتاج البتروكيماويات، كما قامت الشركات الكيميائية المتخصصة بإنتاج مجموعة واسعة من البتروكيماويات المتخصصة.

تناول **الفصل الرابع** دور البحث العلمي في التصدي للقضايا البيئية الناشئة عن صناعة البتروكيماويات، وإيجاد حلول تكنولوجية لتوفير استهلاك الطاقة، وخفض نسب تلوث الهواء والماء الناتج عن الصناعات البتروكيماوية. كما تم تسليط الضوء على كيفية مواجهة أنشطة البحث العلمي والتطوير لقضايا انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون، والانبعاثات غير المباشرة والمرتبطة بمنتجات ذات صلة بالبتروكيماويات مثل الأسمدة الآزوتية، والمنظفات الصناعية، كما تناول شرح موجز عن حلول البحث العلمي في تلبية متطلبات المياه المتنامية، واللازمة للعمليات الصناعية لإنتاج البخار اللازم في العمليات الصناعية لإنتاج البتروكيماويات.

سلط **الفصل الخامس** الضوء على أهمية البحث العلمي والتطوير والاتجاهات الحديثة في تكنولوجيا إنتاج البتروكيماويات لتوفير لقيم مناسب لصناعة البتروكيماويات بأسعار تنافسية، وزيادة التنافسية وهوامش الربحية في صناعة البتروكيماويات، وما أحدثته هذه الابتكارات الجديدة من تغييرات كبيرة في سلسلة القيمة في الصناعة، بدءاً من توفير اللقيم / المواد الخام الأولية بتكلفة منخفضة، مروراً بإنتاج المواد الوسيطة، وصولاً إلى إنتاج المنتجات النهائية. ساهمت تكنولوجيا التشقيق الهيدروليكي مؤخراً في خفض تكلفة إنتاج غاز السجيل "الغاز الصخري"، وأصبح الغاز المستخرج بهذه الطريقة متاحاً بكميات كبيرة من مصادر غير تقليدية، مما ساهم في التوسع في إنشاء وحدات التكسير البخاري لغاز الإيثان وإنتاج الإيثيلين في أمريكا الشمالية، وتصديره إلى مناطق دول أوروبا، وآسيا لتنمية مشروعات جديدة، وإضافة طاقات وتوسعات جديدة لإنتاج البتروكيماويات، ولاتزال العديد من التكنولوجيات تحت البحث والتطوير المستمر والتي من المتوقع أن تكون حلول واعدة لتحديات توفير اللقيم المناسب لصناعة البتروكيماويات بأسعار تنافسية في ظل نمو الطلب العالمي المتزايد على منتجاتها.

واجهت تكنولوجيات البتروكيماويات التقليدية تحديات كثيرة من حيث القدرة التنافسية بين المنتجين الدوليين، خاصة وأن المنتجين في الولايات المتحدة، والشرق الأوسط يتمتعون بميزة انخفاض تكاليف الإنتاج لكل من الإيثيلين، والبروبيلين. بينما في دول منطقة آسيا، ولا سيما في الصين، تظل تقنيات تحويل الفحم إلى ميثانول، وتحويل الميثانول إلى أوليفينات مرتفعة التكلفة نسبياً. ومع ذلك، إذا نجحت الصين في خفض تكاليف الإنتاج في المستقبل، فإنها ستصبح لاعبًا تنافسيًا، مما يمثل تحديًا للمنتجين الآخرين في آسيا المعتمدين على النافثا كمادة خام أولية للصناعة، مثل الشركات في كوريا الجنوبية، واليابان، وتايوان.

تم تسليط الضوء، بشكل عام على عدد من المشروعات الضخمة لتحويل النفط الخام إلى كيماويات (COC) أو البدء فيها في الصين، والمملكة العربية السعودية، والتي تتضمن إعادة تشكيل مصفاة التكرير لإنتاج أكبر قدر من المنتجات الكيميائية، بدلاً من إنتاج وقود النقل كما هو الحال في المصفاة التقليدية. تهدف التكنولوجيا الجديدة إلى تحويل حوالي 40 % من برميل

النفط الخام إلى كيماويات. تسعى شركة "أرامكو" السعودية لتطوير التكنولوجيا مع شركة "شيفرون لامس جلوبال" Chevron Lummus Global (CLG)، وشركة "سي بي أند أي" CB&I، من أجل تعظيم نسبة تحويل النفط الخام إلى كيماويات في مشروعها الجديد لتصل إلى حوالي 70-80٪ من برميل النفط، وهو ما يعني إمكانية زيادة الطاقة الإنتاجية للمشروع إلى حوالي 14 مليون طن سنوياً من الكيماويات. لذا فإن تكنولوجيا تحويل النفط الخام إلى مواد كيميائية يعد أهم تطور وشيك يمكن أن يكون له آثار استراتيجية عميقة وتأثيرات مباشرة على مستقبل صناعة البتروكيماويات العالمية.

أنشئت مصافي تكرير النفط التقليدية بهدف إنتاج الوقود التقليدي، بينما تهدف مشروعات البتروكيماويات إلى إنتاج البتروكيماويات فقط، وفي هذه الحالة يكون مفتاح ربحية المصفاة هو مرونة استخدام الخام، بينما مفتاح ربحية مشروعات البتروكيماويات هو مرونة استخدام مواد التغذية الأولية. أما في المشروعات المدمجة لكل من المصافي والبتروكيماويات فإنه يتم تنسيق استخدام المواد الخام الأولية الناتجة من مصافي التكرير لتعظيم إنتاج البتروكيماويات، ويتم دمج وتكامل استخدامات الطاقة، والمرافق المختلفة لزيادة تحسين كفاءة استخدام الطاقة. ومع ذلك، حتى مع عمليات الدمج، فإن المصفاة في هذه الحالة تهدف إلى إنتاج الوقود، بينما مجمع البتروكيماويات يركز على إنتاج المواد البتروكيماوية. أما المشروعات الجديدة لتحويل النفط الخام إلى كيماويات تدمج كل من المصفاة، ومصانع البتروكيماويات في مجمع واحد، وبالتالي تكون إلى ما هو أبعد من تكامل البتروكيماويات الحديثة في مصفاة التكرير.

بينما تناول **الفصل السادس** نماذج عالمية في مجال الاستثمار في أنشطة البحث والتطوير، حيث تعد صناعة الكيمياويات واحدة من أكبر الصناعات العالمية التي تعتمد بشكل كبير ومباشر على نتائج ومخرجات بحوث قطاع البحث والتطوير في الشركات المطورة، خاصة في الاقتصادات المتقدمة، ويمكن أن يكون لأنماطها المبتكرة، وعملياتها الإنتاجية تأثيرات مباشرة على نمو الناتج الاقتصادي ككل، وأدركت الدول المتقدمة أهمية البحث والتطوير، وحل مشكلات الصناعة، وغيرها من القطاعات الهامة للتنمية المستدامة ورفاهية شعوبها. فنجد أن

الولايات المتحدة الأمريكية، واليابان، والصين، وماليزيا، ودول الاتحاد الأوروبي أنفقت على أنشطة البحث والتطوير حوالي 417 مليار دولار، خلال عام 2019، وهو يتجاوز حوالي 75 % من إجمالي الإنفاق العالمي على البحث العلمي.

زادت شركات البتروكيماويات الكبرى استثماراتها بشكل مكثف في أنشطة البحث والتطوير، فقد أنفقت بعض الشركات الأوروبية مثل "باسف" BASF، وشركة "باير" Bayer، وشركة سينجينتا Syngenta، استثمارات ضخمة في هذا المجال، واستحوذت هذه الشركات على الحصة الأعلى من طلبات براءات الاختراع من بين الشركات الرائدة في أوروبا، وتتميز مخرجات البحث والتطوير بها بأنها ذات جودة مرتفعة جدًا مقارنةً بأي مكان آخر حول العالم. كما انتهجت جميع شركات الكيماويات الكبرى استراتيجية الاندماج والاستحواذ Merger & Acquisition (M&A) للوصول إلى الابتكارات المؤثرة، وكان التعاون بين الصناعة، والأوساط الأكاديمية أحد الطرق المثمرة للابتكار، كما لعبت العناقيد الكيميائية والجغرافية دوراً مهماً في استحداث الابتكارات الهامة في أوروبا.

شكلت نسبة الإنفاق على أبحاث وتطوير تحسينات العمليات، والمنتجات حوالي 80-90٪ من إجمالي إنفاق البحث والتطوير في الشركات الرائدة . على الرغم من وجود مخاطر مرتبطة بالبحث والتطوير ، إلا أن معدلات العائد على الابتكارات الناجحة يمكن أن تصل إلى 25-35٪، حيث بينت دراسة لمجلس البحوث الكيميائية ومقره الولايات المتحدة الأمريكية أن كل دولار يُستثمر في البحث والتطوير يربح حوالي 2 دولار.

تعد براءات الاختراع إحدى الأدوات التي تستخدمها الشركات الكبرى لجني الأرباح من الابتكار، وتعد بياناتها هي المؤشر الرئيسي للابتكار. بشكل عام كلما زادت أنشطة البحث والتطوير في الشركات، زادت معه احتمالية منح عدد أكبر من براءات الاختراع، والتي يتحكم فيها أيضاً جودة البحث. يستغرق منح براءة الاختراع بضع سنوات، لذلك في بعض الحالات يكون عدد براءات الاختراع الممنوحة في عام ما أعلى من تلك التي تم تقديمها في ذلك العام.

تم تسليط الضوء أيضاً على جهود وأنشطة البحث العلمي والتطوير في الدول العربية والتي تتركز بشكل رئيسي في المراكز البحثية والجامعات الحكومية، مع غياب واضح لدور القطاع الخاص في أنشطة البحث والتطوير وتمويلها. وقد كانت لشركات النفط والبتروكيماويات الوطنية في الدول العربية كثافة منخفضة نسبياً في البحث والتطوير "نسبة الإنفاق على البحث والتطوير إلى الإيرادات"، مقارنةً بنظيراتها العالمية، ومع ذلك، فإنها تتخذ الآن خطوات لتغيير ذلك، وتم توجيه جهود تلك الشركات نحو إنشاء مراكز بحث وتطوير، ومتابعة فرص التعاون مع الجامعات، ومقدمي الخدمات، والشركاء الآخرين، بما في ذلك الشركاء الدوليين للابتكار.

بينت الدراسة أن هناك حاجة قوية لشركات صناعات النفط والغاز، والبتروكيماويات في الدول العربية لزيادة استثماراتها في مجالات أنشطة البحث والتطوير، كما تحتاج إلى اعتماد استراتيجيات شاملة تغطي كافة المجالات، بدءاً من الاستكشاف والإنتاج، فضلاً عن التكرير والبتروكيماويات، والتسويق والتوزيع. على أن تحدد تلك الشركات أولوياتها من حيث اختيار التكنولوجيات التي يمكن استيرادها من الخارج، وتحديد التكنولوجيات التي يمكن تطويرها داخلياً في معامل البحوث والتطوير التابعة لها وبالتعاون مع التحالفات العلمية المختلفة المحلية والعالمية. يتبع ذلك تطوير نموذج تجريبي وتشغيلي مناسب لتسهيل نقل التكنولوجيا الجديدة من مراحل التطوير البحثية التجريبية إلى مراحل نشر التكنولوجيا وتسويقها على المستوى التجاري عالمياً. واختتمت الدراسة بالاستنتاجات والتوصيات.

الفصل الأول

مفاهيم التكنولوجيا، والاختراع، والابتكار

الفصل الأول

مفاهيم التكنولوجيا، والاختراع، والابتكار

1.تمهيد

يعتمد التقدم العلمي في الدول على مدى قدرتها على الاستفادة من مخرجات نتائج الأبحاث العلمية بشكل مباشر لتحقيق أهداف خطط التنمية المستدامة بها. ويقاس التقدم العلمي لأي دولة بمدى قدرتها على مسايرة التطورات المتتابعة والمتلاحقة للتكنولوجيا في عالم متغير باستمرار.

من الضروري الاهتمام بقطاع البحث والتطوير، وخاصة في ظل التنافس الشديد بين الدول، وبين الشركات بهدف استمرارية مراجعة ومتابعة التصاميم والتكنولوجيا الحديثة المتوفرة والمستخدمة، وزيادة كفاءة عمليات الإنتاج وتحسين المنتجات، بالإضافة إلى ضرورة ابتكار منتجات جديدة من أجل مواجهة المنافسين ومتابعة التغيرات المستمرة لتلبية رغبات المستهلكين.

1.1 مفهوم التكنولوجيا والاختراع والابتكار Technology, Invention &Innovation

ساعد التعاون المتكامل بين الأوساط الأكاديمية والصناعة خلال فترة الخمس سنوات التي تلت الحرب العالمية الثانية على تسريع وتيرة الابتكارات المتميزة، واستمر التعاون المتزايد ليصبح عامل محوري يشجع على التفكير بشكل مختلف، وتشجيع الإبداع، والتقدم التكنولوجي [1]. تستخدم أحياناً مصطلحات التكنولوجيا، والاختراع، والابتكار بنفس المعنى، وهو تعبير غير دقيق حيث يختلف معنى كل مصطلح عن الآخر. يمكن أن يقتصر مصطلح "تكنولوجيا" على وصف فكرة تقنية بسيطة، وقد يتسع ليشمل كافة الأدوات والاجراءات، والطرق والمعدات المستخدمة في إنتاج سلعة ما، أو تقديم خدمات خاصة في مجال إدارة العمليات "Operation Management"، وهي تعني بشكل مختصر الطرق أو العمليات الصناعية المتداخلة أو المترابطة لإنتاج منتج معين. يمكن أن تعرف التكنولوجيا بأنها

"الاستخدام الأمثل للمعرفة العلمية، وتطبيقاتها، وتطويعها من أجل تحسين معيشة الإنسان وخدمته ".

بينما نجد أن من بين تعريفات الاختراع، إيجاد شيء جديد لم يكن موجود من قبل، ويشمل فكرة جديدة، أو جهاز، أو مجموعة مختارة من العمليات الصناعية. يمكن أن يتحول الاختراع إلى ابتكار وقد يبقى مجرد فكرة. لذا فإن مفهوم كل من الاختراع، والابتكار يشترك في فكرة إيجاد شيء جديد لم يكن موجود من قبل، ولكن ليس من الضروري أن يتحول الاختراع إلى شيء مفيد، أو أن يكون له فائدة عملية، لذا فليس بالضرورة أن يؤدي الابتكار إلى تغيير في التكنولوجيا، وهو ما يعني أن الابتكار ليس مرتبط ارتباطا وثيقاً بالتكنولوجيا، يعتمد الابتكار غالباً على تطوير اختراعات أو تكنولوجيات قديمة موجودة من قبل، وليس من الضروري أيضاً أن يحتاج الابتكار الجديد إلى اختراع جديد [(12)].

قد يخلط البعض بين مفاهيم الابتكار، والاختراع، لذا يجب أن تُحدد وتُميز الفروق بينهما بوضوح. فبينما أوضحت منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية "OECD" في عام 1997، أن الابتكار هو اعتماد طرق إنتاج محسنة أو معدلة تكنولوجيا أو جديدة، نجد أن كل من " ماركيز" في عام 1969، و"هيندرسون، و"كلارك" في عام 1990، صنفا الابتكار إلى تصنيفات عديدة، منها الابتكار الجذري أو الثوري "Radical"، والابتكار التدريجي، وابتكار النظام، وابتكار الهندسة المعمارية. ومع ذلك صنف آخرون الابتكار على أنه ابتكار أساسي، وابتكار متقطع، وابتكار الجيل التالي، وابتكار تقليدي، وابتكار جديد على الشركة، وابتكار جديد على العالم (Mueser, 1985 Shenhar, 1995; Betz, 2003; Dismukes, 2005).

هناك عدة نماذج لمفهوم الابتكار أولها وأبسطها النموذج الخطي "Linear Model"، والذي بدأت فكرتة في عشرينات القرن الماضي، وتحديداً في عام 1929 بفضل المفكر "ستامب"، حيث كان يُنظر في البداية إلى الابتكار على أنه عملية بسيطة نسبيًا ذات اتجاه

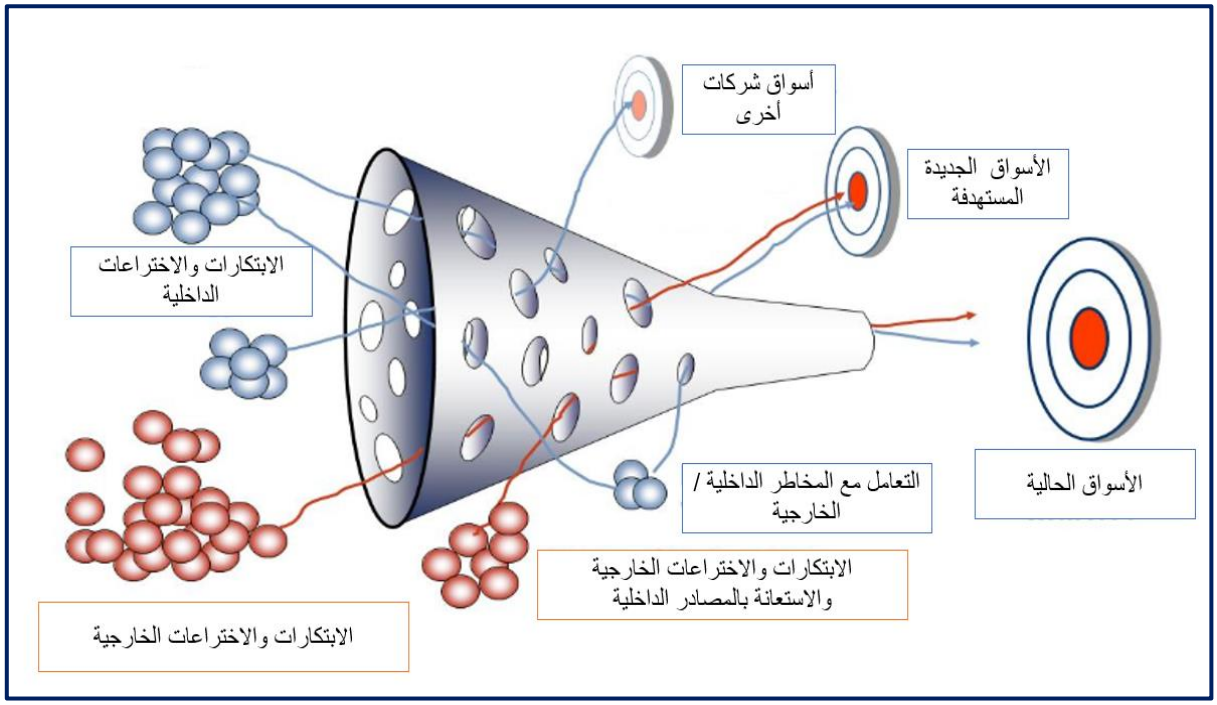
واحد تبدأ بمرحلة البحث الأساسي ثم تنتقل من مرحلة البحث التطبيقي إلى مرحلة التطوير، ثم تنتهي بمرحلة الانتشار أو النشر. كما يبين الشكل (1).

الشكل (1): نموذج الابتكار الخطي

وكان الفهم الأساسي له هو أفضل طريقة لتحويل تدفقات الأفكار أو الأبحاث إلى الابتكار عن طريق زيادة تخصيص الموارد المختلفة للبحث والتطوير (Schumpeter, 1934).

أجريت عدة تحديثات على النموذج الخطي نتيجة بعض التغيرات التكنولوجية وأضيف مفهوم أو نهج جديد عُرف باسم الابتكار المفتوح "Open Innovation"، والذي قام بصياغته المفكر هنري تشيزبرو Henry Chesbrough في عام 2003، والذي يحث على الانفتاح على الأفكار الخارجية التي يمكن للمؤسسات استقطابها، فضلاً عن الأفكار الداخلية للشركة (Chesbrough and Spohrer, 2006). تم في هذا النموذج الأخذ في الاعتبار كل من متطلبات العرض والطلب. من جانب آخر تم الأخذ في الاعتبار استطلاعات الرأي (التقييمات) "Feedback" الواردة من متطلبات ودراسات العرض والطلب ولكن ليس من خلال علاقات خطية بسيطة كما في النموذج الخطي، ولكن بطرق أكثر شمولية (Nemet, 2007)، كما يبين الشكل (2).

الشكل (2): مخطط مبسط لمفهوم الابتكار المفتوح



المصدر: Open innovation, renewing growth from industrial R&D, 10 th innovation convergence, 2004.

وتعد الفكرة الأساسية لمفهوم "الابتكار المفتوح" أنه في عالم المعرفة المترامي الأطراف والمنتشر في جميع المجالات التجارية والصناعية والمجتمعية، ولا تقتصر فقط داخل حدود الشركات، فإنه لابد لهذه الشركات نقل المعرفة الخارجية ودمجها مع المعرفة الداخلية الخاصة بها " الابتكار المفتوح الداخلي - -Inbound Open Innovation- "، وأنه لا يمكن للشركات أن تتحمل الاعتماد كلياً على أبحاثها الخاصة، ولكن يجب عليها شراء أو ترخيص عمليات أو اختراعات (براءات اختراع) من شركات أخرى، وهو ما يسمى بالابتكار" المفتوح الخارجي"Outbound Innovation.

يوفر "الابتكار المفتوح" فوائد عديدة تتمثل في انخفاض تكلفة إجراء البحوث والتطوير، وإمكانية تحسين وتطوير الإنتاجية، ومشاركة العملاء في عملية التطوير، وزيادة الدقة في أبحاث السوق واستهداف العملاء، وإمكانية التضافر بين الابتكارات الداخلية والخارجية، وتحسين عمليات التحول الرقمي، وإمكانية استخدام نماذج أعمال جديدة تماما، والاستفادة من الأنظمة البيئية المبتكرة. من المناسب من منطلق هذا المفهوم ملاحظة أهمية

دور التكنولوجيا، خاصـة وأنه تم الاعتراف بها كمحرك رئيسـي للابتكار منذ منتصـف القرن العشرين (Schumpeter, 1939 Mensch, 1982; Dismukes, 2005).

بينما لا يوجد تصـنيف عالمي موحد للابتكار، فقد اعتمد "ديسـموكيز" في عام 2005 على تصـنيف الابتكار إلى ابتكار جذري (غير مسـتمر)، وابتكار تدريجي (مسـتمر). وعلى نفس النهج أعتمد كل من "شـومبيتر، و"بيرس" تلك المفاهيم في عام 2009. ويلاحظ أن جذور كل من الابتكار الجذري، والابتكار التدريجي تعود إلى زمن بعيد، حيث أن الابتكار الجذري هو في الأساس ما أشار إليه "إينوس" عام 1958 باسم مرحلة ألفا "Alpha Phase" بينما الابتكار التدريجي هو ما أشـار إليه باسـم مرحلة بيتا "Beta Phase"، واعتقد "إينوس" أيضاً أن الابتكارات تتضمن عدة عناصر وأن كل عنصر من هذه العناصر يتطلب اختراعًا.

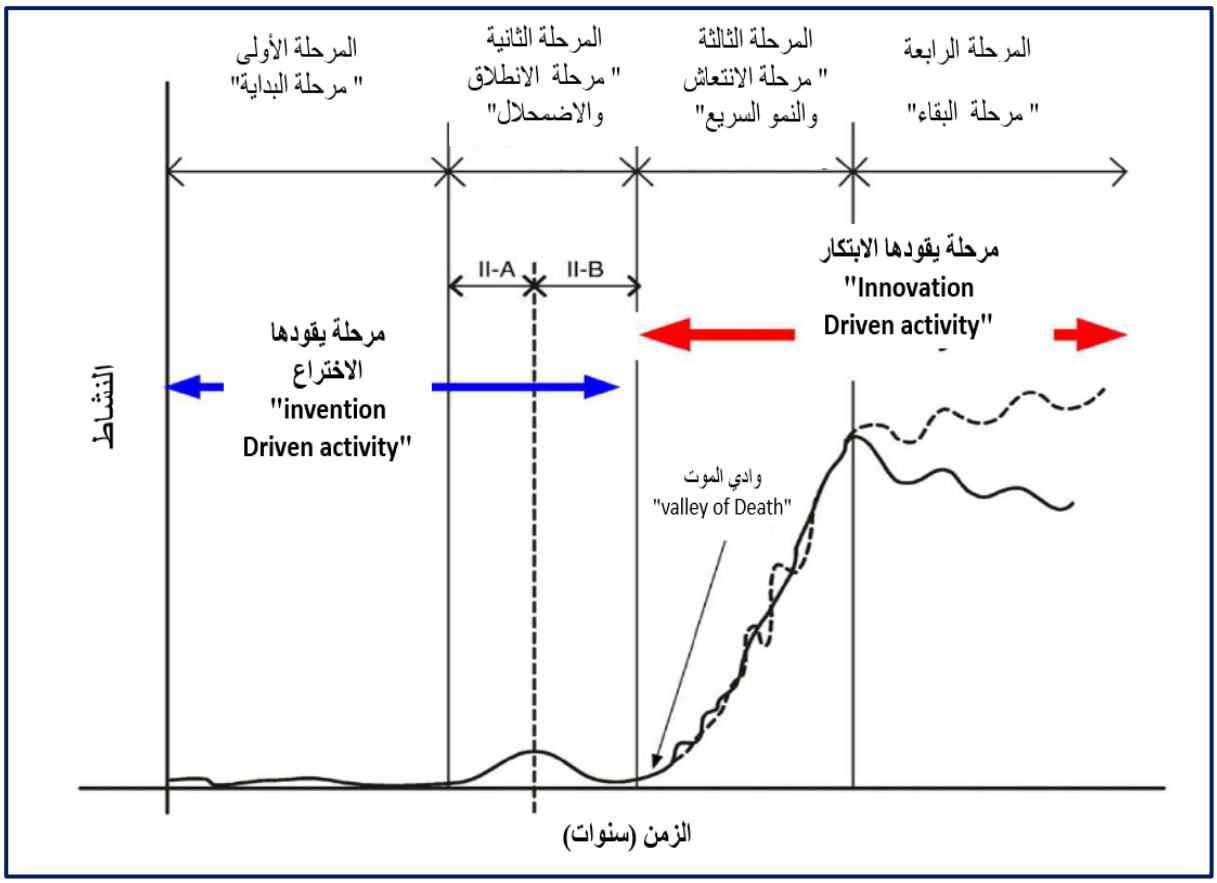
2.1. الحدود بين الاختراع والابتكار

لتوضيح الحدود بين مفهومي الاختراع والابتكار للمنتج فقد وثق "سيخار، وديسماكس، وآخرين " في عام 2009، دورة حياة المنتجات من خلال نموذج يوضـح فترة حياة شـاملة للمنتج، وتشمل أربعة مراحل، وهي: المرحلة الأولى (I) "Initial Stage"، وتعد مرحلة أولية من التنمية والتطوير والتي قد تكون طويلة جداً، ويُشار إلى هذه المرحلة على أنها خطية على الرغم من ظهورها مع بعض التنوءات. تبدأ مع الاكتشـاف والاختراع الرئيسـي للعملية "التكنولوجيا"، وتنتهي عندما يكون تطوير التكنولوجيا كافيا لبدء الإنتاج على نطاق ضيق.

ثم تـأتي المرحلـة الثـانيـة "II" وهي مرحلـة الانطلاق والتدهور " The Lift-Off and Decay"، وتبدأ بارتفاع نشـاط الإنتاج وتنتهي عند النقطة المنخفضـة للنشـاط، وهي مرحلة ارتفاع وهبوط على شـكل منحني أحدب "Hump" (المراحل II-A وII-B)، يليه ما يسـمى "بوادي الموت" Valley of Death، ثم يتبعه اتجاه تصـاعدي مع بداية المرحلة الثالثة " III" وهي مرحلة النهضـة والنمو السريع "The Revival and Rapid Growth Stage"، وتبدأ بعد

أن تعبر النقطة المنخفضة للنشاط من مرحلة الانطلاق " المرحلة الثانية"، ويستمر فيها إنتاج المنتج بمعدلات نمو سريعة. أخيرا، يتم ملاحظة الاستقرار أو الاضمحلال في المرحلة الرابعة "IV"، والتي تسمى أيضًا بمرحلة السلع الأساسية، أو كما يطلق عليها مرحلة البقاء "Survival Stage"، ويكون فيها المنتج قد وصل إلى مرحلة النضج واستقر النشاط، أو بدأ في الانتهاء، يبين الشكل (3) مخطط دورة الحياة الكاملة لتحديد الحدود بين الابتكار والاختراع [14].

الشكل (3): مخطط دورة الحياة الكاملة لتحديد الحدود بين الابتكار والاختراع



المصدر: Generic innovation dynamics across the industrial technology life cycle Platform equation modeling of invention and innovation activity, Jainagesh A. Sekhar a, John P. Dismukes, Technological Forecasting & Social Change 76 (2009) 192–203.

---

* منحنى **وادي الموت** هو عبارة عامة أو وصف يستخدم في عالم رأس المال الاستثماري للإشارة إلى الفترة الزمنية التي تمتد من تلقي شركة ناشئة مساهمة رأس المال الأولي إلى الوقت الذي تبدأ في تحقيق الإيرادات. خلال منحنى وادي الموت، عادة ما يكون التمويل الإضافي نادرًا لأن المستثمرين لا يريدون المخاطرة بالاستثمار في شركة لم تستطيع تحقيق إيرادات لتبدأ بالاعتماد على نفسها في إدارة عملياتها. فإذا لم تحقق إيرادات ولم تتلقى أي تمويل آخر سوف تكون عرضة لمشاكل في التدفق النقدي.

أضاف "كونيلي وآخرين مرحلة خامسة "V" جديدة في عام 2011، وهي مرحلة الموت النهائية، للإشارة إلى نهاية الابتكار.

3.1. الابتكار في صناعة البتروكيماويات

يعرف الابتكار في صناعة الكيماويات والبتروكيماويات بأنه إدارة المشروع من بداية ظهور الفكرة إلى مراحل تنفيذ الإنتاج على المستوى التجاري " Commercial Implementation"، ويستغرق تطوير تقنيات العمليات الصناعية الجديدة في قطاع البتروكيماويات أكثر من 10 سنوات. يعتبر الابتكار حجر الزاوية للنمو وربحية صناعة البتروكيماويات. وبالتالي، هناك ضغط هائل على الشركات لتطوير وتسويق منتجات جديدة بشكل أسرع. ويهيمن ابتكار العمليات على ابتكار المنتجات، وتطورت الابتكارات التكنولوجية حتى الربع الأخير من القرن العشرين في الدول الصناعية المتقدمة.

تاريخياً كانت شركات البتروكيماويات تعتمد في تنوع منتجاتها على أنشطة البحث والتطوير داخل الشركة. استطاعت كثير من الشركات بهذه الطريقة من إدخال منتجات جديدة إلى الأسواق، مثل شركة " دوبونت" التي ابتكرت وادخلت إلى السوق عديد من المنتجات الجديدة كالمطاط الاصطناعي، والنايلون والليكرا. لكن مع مطلع القرن الحادي والعشرين، بدأ نموذج الابتكار التقليدي من الداخل الذي قاد هذه الاكتشافات في الاندثار، وكان أحد العوامل الرئيسية هو الارتفاع الكبير في تنقل خبراء المعرفة والمهارات. كان هناك عامل آخر وهو ظهور رأس المال الاستثماري، مما ساعد على تمويل الشركات الجديدة، وتسويق الأفكار الجديدة، وهكذا أصبحت دورة الابتكار المغلقة غير فعالة.

تتطور حالياً وبوتيرة متسارعة عمليات وممارسات الابتكار، وأصبح الابتكار مدفوعًا بفرق تمتلك مهارات متعددة التخصصات، ولا يعتمد فقط بشكل مباشر على مهارات وابداعات باحث متميز. وبهذه الطريقة، فإن ما يسمى ب "وادي الموت"، وهو الفترة ما بين

مرحلة البحث ومرحلة إقرار المنتج تضيق، مما يؤدي إلى عوائد أعلى بكثير على الاستثمار البحثي [77].

في وقت سابق، زعم كولومبو (1980) أن صناعة البتروكيماويات كانت صناعة مبتكرة بطبيعتها وسلط الضوء من خلال دراسة قام بها على الابتكارات الرئيسية في الصناعة الكيميائية في الفترة 1930-1970، ركز فيها على القيود، أو الحواجز التي تحول دون الابتكار في الصناعة الكيميائية. بينما درس " ولش" في عام 1984 محددات معدل واتجاه، وحجم الاختراع، والنشاط الابتكاري في صناعة البتروكيماويات خلال الفترة من 1930 إلى 1980. فيما بين "كوين" عام 1983 أن عمليات الابتكار يمكن أن تكون فوضوية، ولكنها تحتاج إلى إدارتها بشكل جيد إذا أردنا تحقيق النتائج النهائية.

من جانب آخر تم إجراء العديد من الدراسات حول صناعة البتروكيماويات الأوروبية والابتكار في فترات الازمات الاقتصادية. وقام "كولومبو" في عام 1986 بتقييم وجهات نظر صناعة البتروكيماويات الأوروبية في وقت الأزمة الاقتصادية عندما استمرت معدلات النمو الاقتصادي في الانخفاض، حيث قام بفحص القضايا الرئيسية لصناعة الكيماويات مثل: جغرافيتها المتغيرة، وإعادة الانتشار الصناعي، والتحول من إنتاج الكيماويات التقليدية، إلى المنتجات الهندسية "الوظيفية"، ومشاكل الابتكار العلمي والتكنولوجي، وعواقبه على الصناعة والمجتمع. وخلصت النتائج التي توصلت إليها نتائج الدراسات، إلى أن متطلبات العميل، والاكتشافات الناتجة عن البحث والتطوير لهما نفس القدر من الأهمية في تطوير الاختراع والابتكار في صناعة البتروكيماويات، وأن ما يفصل بين نجاح، وخسارة صناعة البتروكيماويات تعود إلى جودة الأنشطة البحثية والتطوير في عملية الابتكار.

وبالمثل ركز "هتشسون، وآخرون" في عام 1996 على مصادر الابتكار التقني في مجموعة من الشركات التي تزود مصانع ومعدات العمليات الصناعية الكيميائية. أسفرت النتائج أن التحالفات بين المقاولين، ومصنعي المعدات لا تساعد فقط في تقليل متطلبات تصميم المصنع، وعمليات الشراء للمعدات، والأجهزة والمرافق، وتكاليف التركيب والإنشاء، ولكن أيضًا مواجهة التهديد التنافسي من الشركات الأكثر تخصصًا (لا سيما الشركات المصنعة للمعدات الكبيرة التي لديها شركاتها الخاصة). علاوة على ذلك، أظهرت الدراسات أن " الابتكار المشترك "يمكن أن يولد ميزة تنافسية تكنولوجية، من خلال المشاركة في التكلفة والمخاطر.

قدم كل من "ارفانيتيس، وفيلافيسينسيو" في عام 2000، لمحة عامة " استطلاع" عن نظام الابتكار في قطاع البتروكيماويات في بعض الدول الصناعية كالمكسيك. بينت نتائج الاستطلاع أن حوالي 12 % فقط من الشركات قدمت منتجات جديدة لم تكن موجودة من قبل، وهو ما يعني أن الغالبية العظمى من شركات البتروكيماويات، هي شركات غير مبتكرة، بل هي شركات مقلدة، أو تعمل على تحسين مواصفات منتجات موجودة بالفعل في الأسواق. وأن حوالي 18 % من الشركات التي شملها الاستطلاع لا تنفق على الابتكار، وحوالي 39 % من الشركات تنفق أقل من 2 % من إجمالي مبيعاتها، وأكثر من 40 % من الشركات تنفق أكثر من 2 % من مبيعاتها على أنشطة البحث والتطوير [75].

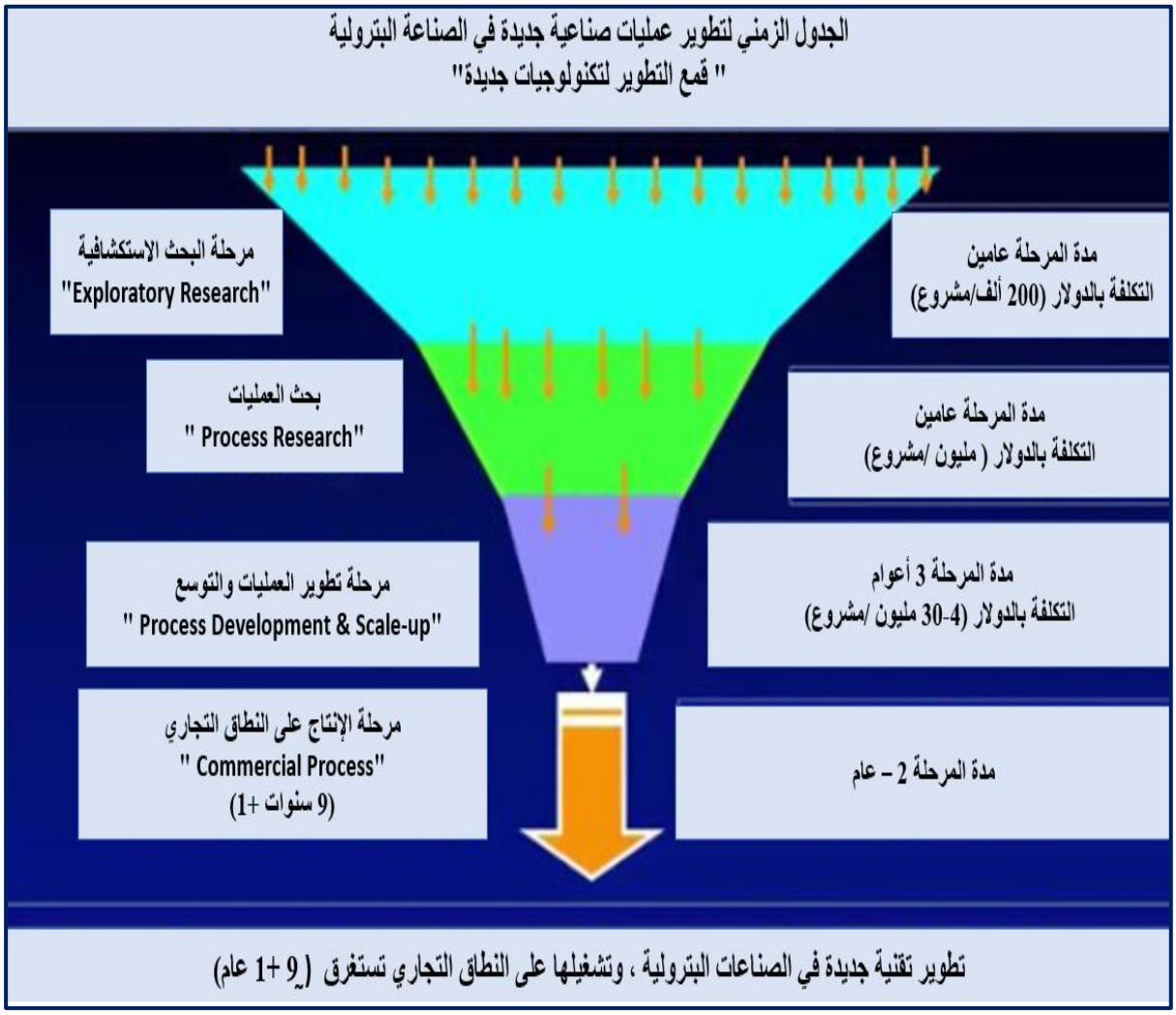
من جانب آخر نجد أن كبرى شركات البتروكيماويات الأوروبية مثل "باسف" BASF تنفق استثمارات ضخمة في مجال الابتكارات، وشركة "باير" Bayer، وشركة سينجينتا Syngenta، واستحوذت تلك الشركات على الحصة الأعلى من طلبات براءات الاختراع، كما تميزت جودة مخرجات البحث والتطوير بها بأنها عالية جدًا مقارنةً بأي مكان آخر حول العالم. كما تستخدم جميع شركات الكيماويات الكبرى استراتيجية الاندماج والاستحواذ Merger & Acquisition (M&A) للوصول إلى الابتكار المؤثرة، كما يعد التعاون بين

الصناعة والأوساط الأكاديمية أحد الطرق المثمرة للابتكار في صناعة البتروكيماويات. كما تلعب العناقيد الصناعية والجغرافية دوراً مهماً في استحداث الابتكارات الهامة في أوروبا.

قدمت دراسة أعدت في عام 2009 بواسطة "المفوضية الأوروبية للصناعة وتنمية الأعمال" بعض المقترحات لاجتذاب الابتكار إلى صناعة البتروكيماويات الأوروبية وجعلها مركز الثقل لهذه الصناعة، كان من أهمها: استخدام الموارد المستدامة بشكل أكثر، وتعظيم الاستفادة من شبكات الابتكار، وزيادة الحلول الكيميائية الشاملة عبر زيادة سلاسل القيمة، ودعم نوعية وكمية البحث والتطوير وفعالية الابتكار، والملكية الفكرية، ومكافحة التقليد، وإعداد اللوائح والمعايير في صناعة الكيماويات، والتعليم وجذب المواهب الجديدة إلى صناعة البتروكيماويات، مع التركيز بشكل خاص على الابتكار من أجل البقاء في المنافسة.

يمكن تقسيم الابتكار في الصناعة الكيميائية إلى أربعة أقسام رئيسية وهي: أولاً، ابتكار المنتجات وتشمل تحسين الخواص الكيميائية للمنتج واختيار المنتج طبقاً لمتطلبات الدعم الفني. ثانياً ابتكار عمليات التصنيع، وتشمل طرق إنتاج جديدة للمواد الكيميائية لتوفير الطاقة المستخدمة. بينما يشمل القسم الثالث ابتكار عمليات الأعمال تشمل تحسين الموارد البشرية لاختيار أفضل المواهب، وأخيراً القسم الرابع وهو ابتكار نموذج الأعمال والتشغيل، ويشمل فصل نماذج الأعمال التقليدية عن الأعمال التخصصية [76]. تمر عمليات التطوير بعدة مراحل يبين الشكل (4) الجدول الزمني لتطوير عمليات صناعية جديدة في الصناعات البترولية اللاحقة.

الشكل (4): الجدول الزمني لتطوير عمليات صناعية جديدة في الصناعات البترولية اللاحقة



المصدر: Petrochemical Technology Trends: Looking Beyond the Short Term Fix, AIChE Spring Meeting and Global Congress on Process Safety, 2015.

تعد مرحلة البحث الاستكشافي "Exploratory Research"، أهم مراحل الابتكار في صناعة البتروكيماويات، وهي بمثابة الخطوة الأولى التي لابد من تجاوزها للانطلاق في طريق البحث العلمي بصورة عامة، والانتقال إلى نوع آخر من البحوث العلمية لدراسة معمقة لظاهرة أو مشكلة ما، حيث أنه يسهم في جعل موضوع البحث أكثر وضوحا، بالإضافة إلى أن البحث الاستكشافي يساعد في تحديد أفضل تصميم للبحث وطرق جمع البيانات ذات العلاقة. قد تستغرق هذه المرحلة نحو عامين، بتكلفة تصل إلى حوالي 200 ألف دولار لكل مشروع بحثي على حده [14].

ثم تـأتي مرحلـة بحوث العمليـات "Process Research"، وهي المرحلـة البحثيـة التي تعتمـد على إجراء التجـارب العلميـة، والمعمليـة على النطـاق التجريبي، لتعيين الظروف المحيطة بالعملية الصـناعية، بهدف الوصـول إلى نتائج تفسـر العلاقة بين المتغيرات المؤثرة، على العمليات الصناعية وتحديد الظروف القصوى القياسية. تستغرق هذه المرحلة أيضاً نحو عامين، وقد تصل ميزانيتها إلى نحو مليون دولار أمريكي [14].

ثم تأتي مرحلة تطوير العمليات والتوسـع "Process Development & Scale-up"، وهي المرحلة التي تعني تحويل الأفكار إلى التنفيذ الصـــناعي على نطاق الإنتاج التجريبي الناجح "Pilot Scale"، وذلك بهدف تقليل المخـاطر إلى أقل مســتوى ممكن، بحيث يكون التنفيذ التجاري ناجحاً، ويكون مسار الابتكار سريع وناجح. تستغرق هذه المرحلة نحو ثلاثة أعوام، وتتراوح ميزانيتها ما بين 4-30 مليون دولار أمريكي [13].

ثم تـأتي بعدهـا مرحلـة الإنتـاج على النطـاق التجـاري "Commercial Process"، والتي تســتغرق من عامين إلى ثلاثة أعوام [14،13،4]. إن أثار فشـــل التنفيذ على النطاق التجاري ستكون هائلة، ولن تقتصـر على الخسـائر المالية في راس المال والتي قد تصـل إلى مليارات الدولارات، وفقدان الإيرادات المستقبلية فقط، بل سيتعدى الأمر إلى فقدان ثقة العملاء، فضـلاً عن فقد الثقة في القدرات الابتكارية للشركة، وما يتبعها من فقدان الثقة في الأسواق وصـعوبة الحصول على ميزانيات لمشاريع ابتكارية مستقبلية. وإذا لم يكن تنفيذ النطاق التجاري فاشلاً تماما، ولكن قد يحدث تأخير غير مخطط له في بدء التشـغيل، أو انخفاض في القدرة الإنتاجية مقارنة بقدرة التصـميم الرئيسـية، فستظل التأثيرات كبيرة. وغالباً تحدث هذه الإخفاقات الكلية أو الجزئية، ولا تزال في الصـــناعات التحويلية، حيث أن هناك العديد من المشـــروعات لديها تأخير طويل في بدء التشـغيل، بل أن العديد منها لم يصـل إلى القدرة التصـميمية حتى بعد 5 سـنوات من بدء التشـغيل. وتعود الأسـباب الكامنة وراء هذه الإخفاقات الكبيرة إلى عدم إعداد قواعد بيانات فنية سليمة، أو أن هناك نقص في إعداد الهيكل التنظيمي [13].

الفصل الثاني

تطور إنتاج الكيماويات من المصادر غير النفطية

الفصل الثاني

تطور إنتاج الكيماويات من المصادر غير النفطية

2. تمهيد

تزايد الاحتياج إلى الكيماويات المستخدمة في صناعة المطاط الصناعي والراتنجات والألياف الصناعية بدرجة كبيرة فاقت إمكانية توفيره من المصادر غير النفطية، وقد ظل قطران الفحم لفترة طويلة هو المصدر الرئيسي لإنتاج الكيماويات العضوية، وازدهرت كيمياء الفحم لفترة طويلة قبل نشأة صناعة البتروكيماويات واستمرت حتى وقتنا هذا.

1.2. خلفية تاريخية عن نشأة صناعة الكيماويات

ازدهر إنتاج بعض الكيماويات في الولايات المتحدة الأمريكية في أربعينيات القرن الماضي، ولفترة طويلة قبل ظهور صناعة البتروكيماويات حيث أنتجت بعض المواد الكيميائية مثل الميثانول، وأحماض واسترات وأملاح الأسيتيك، والأسيتون اعتماداً على تكنولوجيا كيمياء الأخشاب "Wood Chemistry"، والتي تعتمد على طرق كربنة الخشب "Wood Carbonization". كما انتشرت خلال تلك الفترة أيضاً كيمياء الفحم " Coal Chemistry"، لإنتاج غاز الفحم، "Coke Oven Gas or Coal Gas" من التقطير الجاف للفحم والذي استخدم في إنارة المدن، كما تأسست عليه صناعة الأمونيا نظراً لاحتوائه على كل من غاز الهيدروجين، وغاز أول أكسيد الكربون. يحتوي غاز الفحم أيضاً على هيدروكربونات أخرى تعد من المواد الأولية لإنتاج الإيثيلين، والإيثيلين غلايكول.

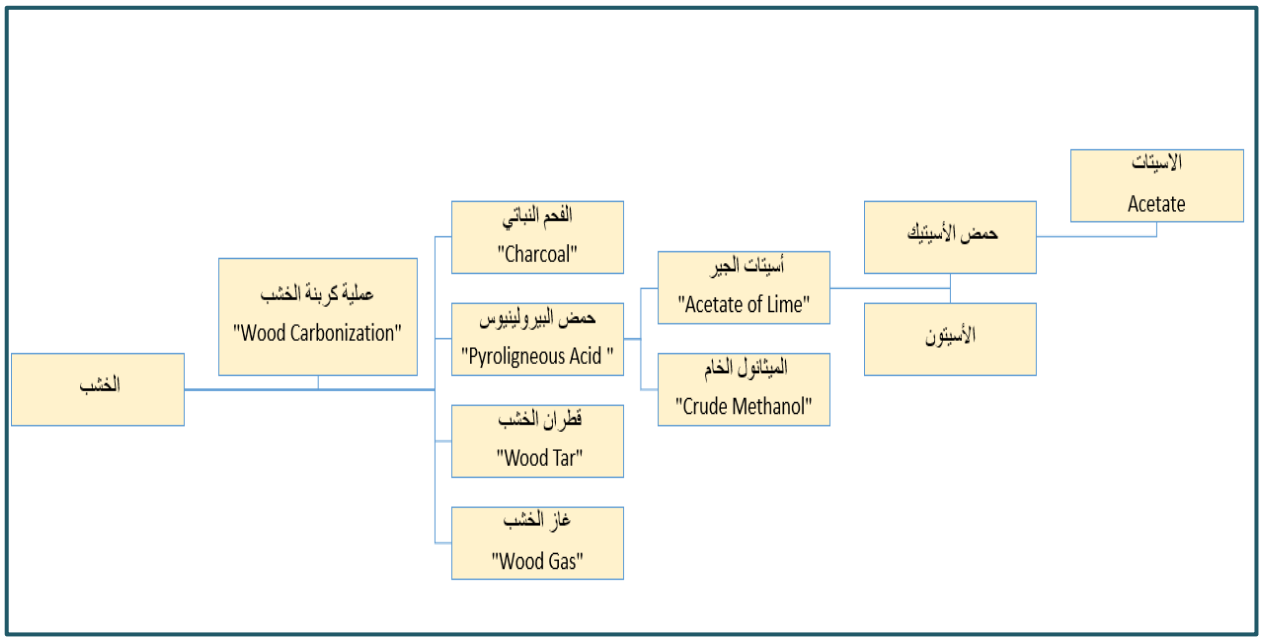
عُرفت كيمياء الدهون "Oleochemistry " لإنتاج بعض المواد الكيميائية من الدهون النباتية والحيوانية، مثل الأحماض الدهنية المستخدمة في صناعة الأدوية، والصناعات الغذائية، والمنظفات، والشموع، والصابون، والأصباغ.

كما استخدمت في تلك الحقبة الزمنية وعلى نطاق أوسع كيمياء التخمير "Fermentation Chemistry" لإنتاج الكحول الإيثيلي "الحيوي"، والذي استخدم للخلط مع الغازولين لتحسين ورفع رقم الأوكتان. كما بزغت صناعة وإنتاج المواد الكيميائية العضوية وغير العضوية في ألمانيا، بالإضافة إلى تطوير تكنولوجيا إنتاج الزيوت الاصطناعية بها على المستوى التجاري، كما طورت تكنولوجيا إنتاج البوليمرات، والمطاط الاصطناعي.

1.1.2. إنتاج الكيماويات العضوية والبوليمرات بتكنولوجيا كربنة الخشب "Wood Carbonization"

كربنة الخشب هي عملية تفحيم الخشب لإنتاج الفحم النباتي، وقطران الخشب " Wood Tar"، بالإضافة إلى حمض البيروليغنيوس "Pyroligneous Acid"، وغاز الخشب كمنتجات ثانوية. يُنتَج حمض البيروليغنيوس كل من أسيتات الكالسيوم أو ما أطلق عليها قديماً اسم أسيتات الجير "Acetate of Lime"، والميثانول الخام "Crude Methanol". بينما ينتج التقطير الجاف لأسيتات الجير كل من حمض الخليك وأملاحه واستراتة، والأسيتون. يبين الشكل (5) أهم المنتجات الرئيسية الناتجة عن عمليات كربنة الخشب.

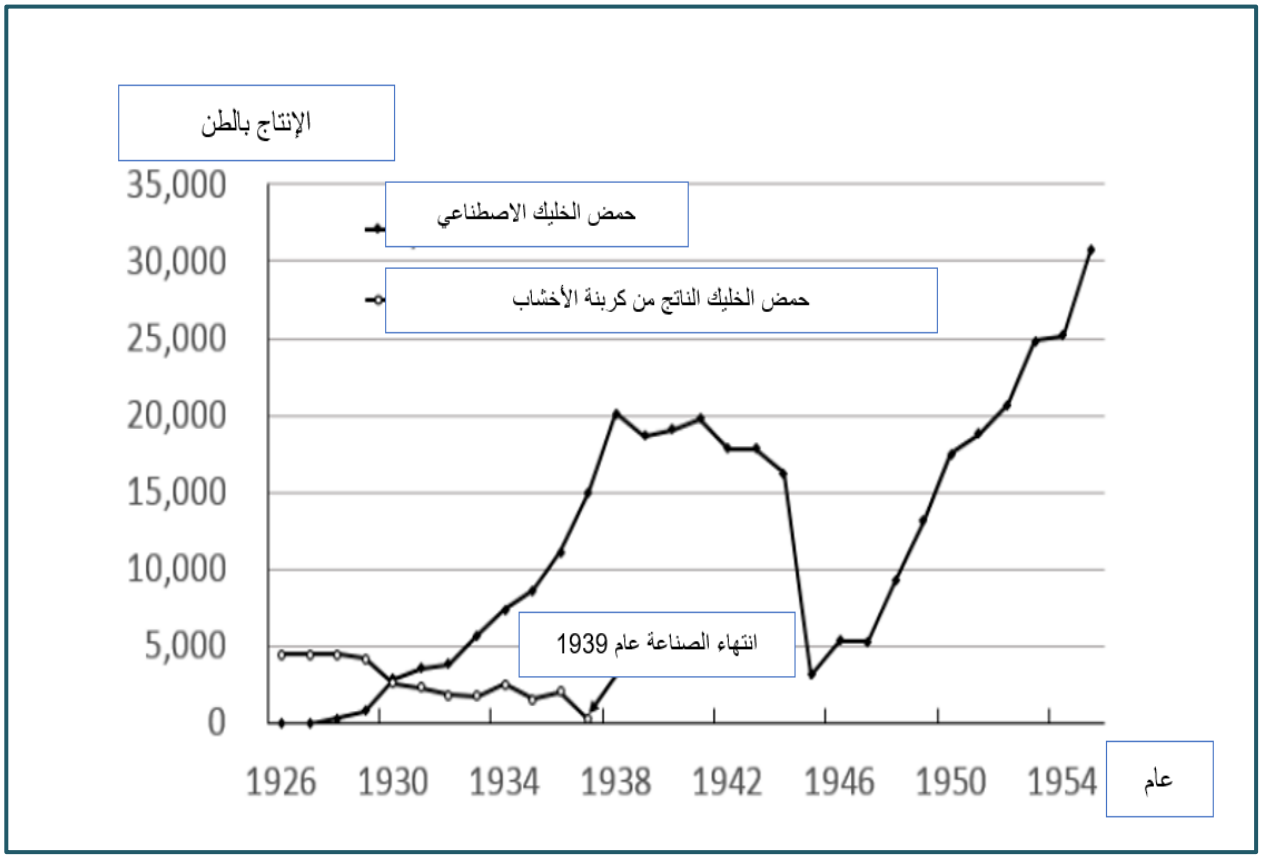
الشكل (5): أهم المنتجات الرئيسية الناتجة عن عمليات كربنة الخشب



المصدر: The history of the chemical industry,

استخدمت تقنية كربنة الخشب منذ القرن الثامن عشر في الدول والمناطق الغنية بالغابات مثل النمسا، والمجر، وشمال أوروبا، والولايات المتحدة. وطورت كل من ألمانيا، والمملكة المتحدة صناعات تكرير حمض الأسيتيك، وقامت باستيراد أسيتات الكالسيوم لإنتاج حمض الخليك، ومع بداية الحرب العالمية الأولى نجحت ألمانيا في صناعة حمض الخليك من الكربيد، والأسيتيلين. بدأت صناعة كربنة الخشب في اليابان في عام 1893 بتأسيس مصنع كربنة الخشب لإنتاج حمض الخليك المستخدم في الصباغة. أدى إنتاج حمض الخليك الاصطناعي إلى تراجع إنتاجه من كربنة الأخشاب، بل وتوقف إنتاجه تماماً في عام 1939، كما يبين الشكل (6).

الشكل (6): نمو إنتاج حمض الخليك الصناعي مقابل حمض الخليك الناتج من كربنة الأخشاب



المصدر: The history of the chemical industry,

2.1.2. إنتاج الكيماويات العضوية والبوليمرات من الفحم

ازدهرت كيمياء الفحم لفترة طويلة قبل نشأة صناعة البتروكيماويات واستمرت بعدها، وحتى وقتنا هذا. تنقسم كيمياء الفحم إلى ثلاث أقسام متشعبة، وهي كيمياء الكربيد / الأسيتيلين، وكيمياء قطران الفحم / العطريات، وكيمياء فحم الكوك / الغاز الاصطناعي "المشيد"، هذا وقد تطور كل منها بشكل كبير. حيث أنه أنتج غاز الفحم من التقطير الجاف للفحم، واستخدم على نطاق واسع في إمدادات الغاز للمدن. يعد الهيدروجين وأول أكسيد الكربون من المكونات الرئيسية للغاز والتي تأسست عليها صناعة الأمونيا. كما بدأ استخلاص وتنقية غاز الإيثان من خليط غاز الفحم لاستخدامه في إنتاج المواد الكيميائية العضوية الصناعية في ألمانيا خلال الحرب العالمية الأولى، وكان من أهم مصادر إنتاج الإيثيلين، بعد كل من الإيثانول الحيوي، ومن الهدرجة الجزئية للأسيتيلين.

1.2.1.2. إنتاج الكيماويات العضوية والبوليمرات من الكربيد / الأسيتيلين

بدأ إنتاج الكربيدات عام 1894 بواسطة شركة "يونيون كاربيد الأمريكية"، وبدأ إنتاجه في أوروبا في نفس الوقت تقريباً، أنتج الكربيد من تفاعل فحم الكوك مع الجير الحي عند درجة حرارة 2000° م أو أعلى. بينما أنتج الأسيتيلين بتفاعل الكربيدات مع الماء عند درجات الحرارة العادية، وتم في البداية استخدامه كغاز للإضاءة. اكتشف هذا التفاعل أحد مؤسسي الكيمياء العضوية في عام 1862، وهو الكيميائي الألماني "فريدريش فولر"، ولم تؤسس الصناعة الكيميائية القائمة على الأسيتيلين إلا بواسطة شركة "واكر" Wacker الألمانية في عام 1916، أي بعد مرور أكثر من 50 عام من اكتشاف "فولر".

استخدمت أفران الكربيد لإنتاج النيتروجين الجيري "Lime Nitrogen"، في ألمانيا عام 1897، مما أتاح لشركة "هابر بوش " Haber-Bosch إنتاج الأسمدة الازوتية بكميات ضخمة

إلى أن اكتشـفت شـركة "باسـف" الألمانية تكنولوجيا جديدة تتيح إنتاج الأمونيا مباشـرة من النيتروجين الموجود في الهواء في عام 1911، ومن ثم إنتاج الأسمدة الازوتية.

نافست التقنية الجديدة طريقة تصنيع الأسمدة النيتروجينية من الكربيدات، وانتشر بعدها التصـنيع المباشـر للأمونيا في جميع أنحاء العالم. بلغ إنتاج الكربيد ذروته في عام 1965 وانخفض بعد ذلك بسـرعة، نظراً لانخفاض اسـتخدام الكربيد في إنتاج الأسـمدة. يبين الشـكل (7) محطة تجارب الأسمدة الازوتية من إنتاج شركة باسف الألمانية.

الشكل (7): محطة تجارب الأسمدة الازوتية من إنتاج شركة باسف الألمانية

المصدر: BASF History, 1865 – 2015

1.1.2.1.2. إنتاج المطاط الصناعي من الأسيتيلين

أنتج مطاط الميثيل الصناعي لأول مرة خلال الحرب العالمية الأولى بواسطة شركة "باير" الألمانية، وتم إنتاج حوالي 2000 طن منه، إلا أن صناعته تراجعت بعد الحرب، لأن جودته حينها لم تكن تضاهي أداء المطاط الطبيعي. ومع ذلك، تم إجراء العديد من الأبحاث المشتركة في كل من ألمانيا والولايات المتحدة بعد الحرب حول تطوير تكنولوجيا تصنيع البيوتاداين، وعمليات البلمرة. تم من خلالها اكتشاف كوبوليمر " بونا إس" Buna S، وهو ما يعرف الآن باسم مطاط البيوتاداين – ستيرين SBR.

في عام 1929 مُنحت شركة "أي جي فاربن" IG Farben براءات الاختراع الألمانية والأمريكية، وأنشأت مصنع على المستوى التجريبي في عام 1934. وفي نفس الوقت طورت شركة "دوبونت سي أر"، مونيمر "الكلوروبيرن"، والمستخدم في إنتاج بوليمر "البولي كلوروبرين"، وكانت أول من أنتجته في عام 1932، ويعرف الكلوروبيرن بالاسم التجاري "النيوبرين". طورت شركة "ستاندرد أويل" Standard Oil، كوبوليمر مشترك من الأيزوبيوتيلين – الأيزوبرين، لإنتاج الأنابيب المطاطية الداخلية للإطارات نظراً لانخفاض نفاذيته للغاز، وبدأ الإنتاج الصناعي له في عام 1943.

بدأ معهد " أوساكا للبحوث الصناعية" الياباني عام 1935 في إجراء الأبحاث العلمية لإنتاج المطاط الصناعي، وأكتشف طريقة لإنتاج البيوتاداين بطريقة تجفيف الإيثانول الحيوي، وإزالة الهيدروجين باستخدام محفز أكسيد المغنيسيوم. وفي عام 1938 قام المعهد ببناء مصنع تجريبي بطاقة إنتاجية 10 كجم / يوم. انتقل عدد من المهندسين من معهد أوساكا للبحوث الصناعية إلى شركة " نيهون كاساي " Nihon Kasei، في عام 1939، لتشييد مصنع تجريبي بطاقة إنتاجية 1 طن / يوم.

بدأ إنتاج مطاط الأكريلونيتريل بيوتادايين NBR في عام 1942، وأكملت شركة "كانيغافوتشي الصناعية" مصنع الإنتاج في عام 1945، لكن الحرب منعت الوصول إلى مستويات إنتاج كافية. كانت قد بدأت شركة " ميتسوي للتعدين"Mitsui Mining في عام 1937 أبحاثها الخاصة وأتقنت طريقة إنتاج البيوتادايين عبر الأسيتالدول (عن طريق تفاعل ألدول، أو التفاعل الألدولي)، كما طورت تقنية إنتاج مطاط الأكريلونيتريل بيوتادايين، وبدأت الشركة في بناء مصنع البيوتادايين في عام 1941، وأنتج المطاط في عام 1944.

2.1.2.1.2. إنتاج الفينيل كلوريد والبولي فينيل كلوريد

بدأ تصنيع الفينيل كلوريد في أواخر العشرينيات بتفاعل الأسيتيلين مع كلوريد الهيدروجين في ألمانيا، وبدأ تصنيعه في الولايات المتحدة الأمريكية في أوائل الثلاثينيات من القرن الماضي. بينما انتهجت اليابان استراتيجيات ومبادرات لإنتاج البولي فينيل كلوريد محلياً في عام 1948، فبدأت في استيراد عينات من البولي فينيل كلوريد من الولايات المتحدة الأمريكية، وتوزيعها على العديد من الشركات المحلية لإجراء الأبحاث اللازمة لإنتاجه. نجحت شركة " نيبون شيسو هيريو" في إنتاجه في مصنعها في "ميناماتا". بدأت الشركات اليابانية في عام 1950 استيراد ماكينات معدات قولبة وتشكيل منتجات البولي فينيل كلوريد من أوروبا، مما أتاح لها فرص إنتاج عدد من المنتجات بما في ذلك تغليف الأسلاك الكهربائية، وإنتاج أفلام التغليف، والأحزمة، والأنابيب، والخراطيم.

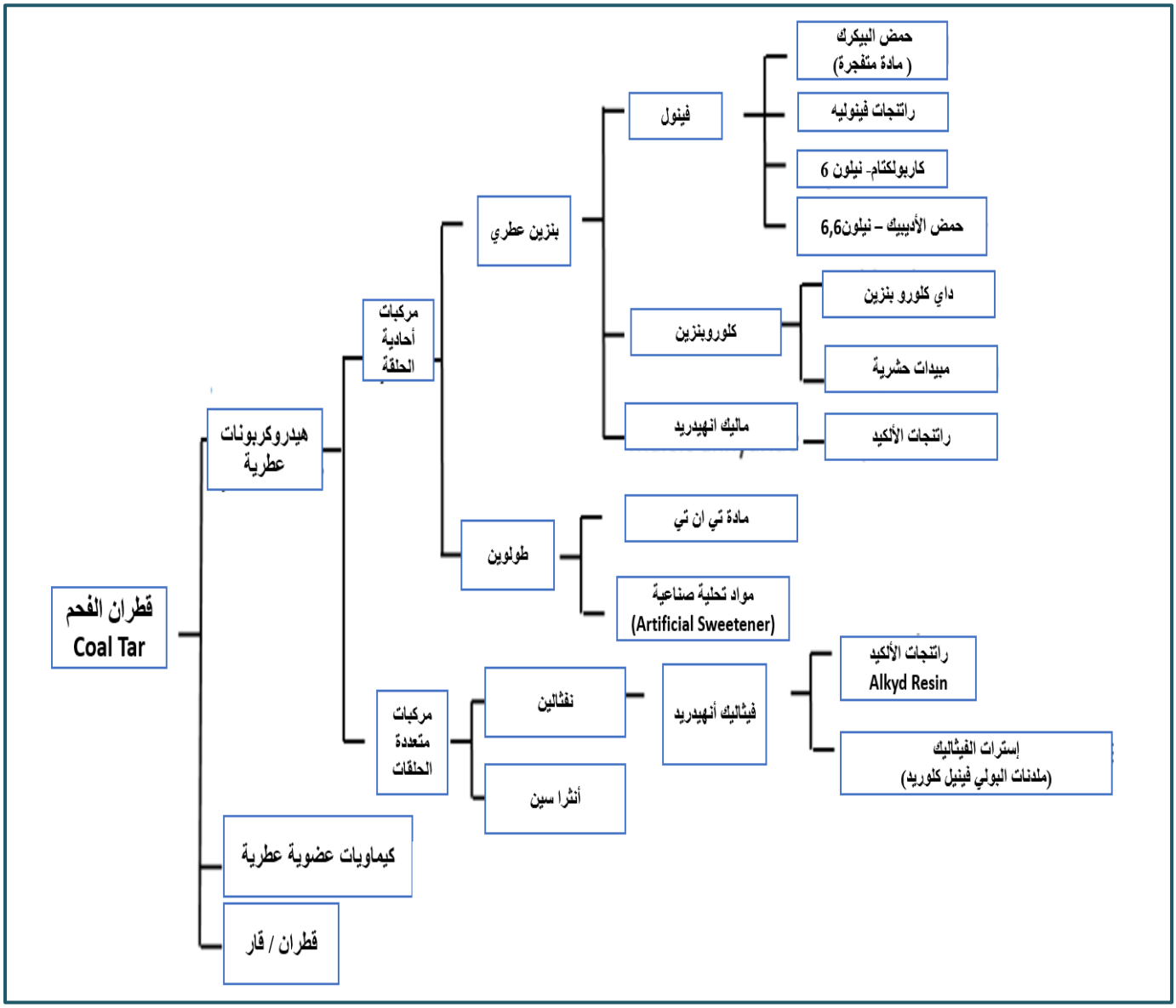
2.2.1.2. إنتاج الكيماويات العضوية الصناعية والبوليمرات من قطران الفحم "Coal Tar"

أُنتج "قطران الفحم" من عمليات كربنة الفحم كمنتج ثانوي غير مرغوب فيه. تم تقطير قطران الفحم للاستفادة منه في إنتاج بعض المنتجات الأروماتية "العطرية" أحادية وثنائية الحلقات، مثل: البنزين العطري، والنفثالين، والإنثراسين، والفينولات، والكريزولات، والبيريدينات، وغيرها من المركبات العضوية الأروماتية.

من جانب آخر بدأت صناعة الأصباغ الاصطناعية في عام 1856 على يد "ويليام هنري بيركين"، وتطورت لاحقاً في كل من ألمانيا، وسويسرا. وبدأت أيضاً صناعة المستحضرات الصيدلانية في نهاية القرن التاسع عشر، وبدأت معها صناعة العطور، وإنتاج النكهات الغذائية "Flavoring"، وعدد من الصناعات الكيماوية الدقيقة الأخرى.

بعد الحرب العالمية الثانية، أصبحت منتجات قطران الفحم مصدر رئيسي للمواد الخام الأولية لإنتاج المبيدات. تم خلال هذه الفترة تطوير مجموعة متنوعة من تقنيات إنتاج العطريات، وعدد من الصناعات الكيميائية، كما يبين الشكل (8).

الشكل (8): نواتج تقطير قطران الفحم من المواد الأروماتية المختلفة



المصدر: Modelling coke formation in an industrial ethane-cracking furnace for ethylene production

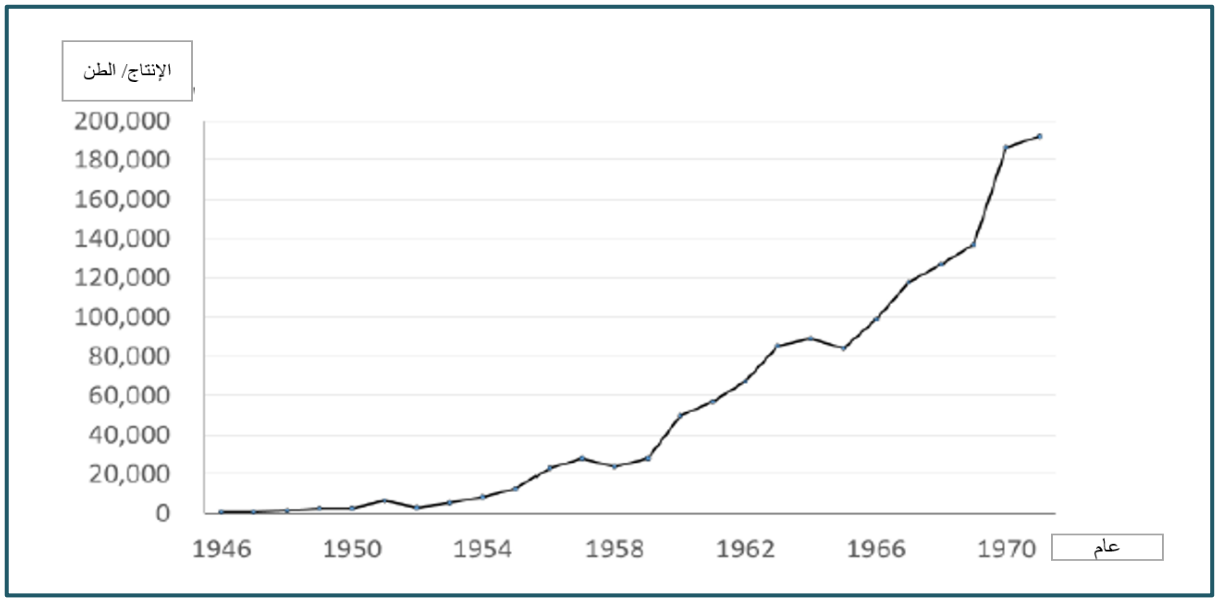
1.2.2.1.2. إنتاج الفينول

بدأ الإنتاج الصناعي للفينول في ألمانيا من قطران الفحم بطرق كبرته "سلفنة" البنزين العطري في أواخر القرن التاسع عشر، وكانت هذه الطريقة معقدة للغاية وكثيفة العمالة. قامت شركة " يورا سيكو" في اليابان، وهي الآن "هونشو لصناعة الكيماويات"، بإنتاج الفينول في عام 1915 باستخدام تقنيتها الخاصة المطورة. كما تم إنتاج كل من ثنائي

أيزوسيانات التولوين (TDI)، وميثيلين داي فينيل ثنائي أيزوسيانات (MDI) بكميات ضخمة، والتي استخدمت في إنتاج مجموعة متنوعة من منتجات البولي يوريثان كالطلاءات، والمواد اللاصقة، ومانعات التسرب، والدهانات، والمواد المقاومة للعوامل الجوية.

زاد الطلب في الولايات المتحدة الأمريكية خلال العقد الأول من القرن العشرين على منتج الفينول بشكل كبير مع بدء تصنيع راتنجات الفينول. وقامت شركة "دي بونت" الأمريكية في عام 1939 بتصنيع منتج " 6،6 نايلون"، ثم قامت الشركة الألمانية "أي جي فاربن" في أوائل الأربعينيات بتصنيع منتج " 6 نايلون". زاد إنتاج النايلون بسرعة في اليابان بعد الحرب العالمية الثانية، مما كان له أثر على زيادة الطلب على الفينول بشكل مفاجئ، وكانت مستويات الإنتاج أعلى بكثير عما كان قبل الحرب، كما هو موضح في الشكل (9).

الشكل (9): معدلات إنتاج الفينول الصناعي في اليابان قبل وبعد الحرب العالمية الثانية



المصدر: Modelling coke formation in an industrial ethane-cracking furnace for ethylene production

أدت زيادة الطلب العالمي على الفينول، إلى زيادة الطلب على البنزين العطري، وحيث أن قطران الفحم كان يتم إنتاجه كمنتج ثانوي من فحم الكوك، ولم تتمكن كمياته المنتجة من دعم الطلب المتزايد على البنزين العطري.

تصدت فيما بعد بحوث البتروكيماويات لهذا التحدي، حيث تم تطوير العمليات الصناعية لتحويل الهيدروكربونات النفطية إلى بنزين عطري لتغطية الاحتياجات المطلوبة والمتزايدة. فتم تطوير تقنية جديدة في عام 1953 في كل من الولايات المتحدة، والمملكة المتحدة لإنتاج الفينول من الكيومين "Cumene"، وتم إنتاجه لأول مره في كندا. تعتمد هذه التقنية على إنتاج الكيومين بتفاعل البنزين العطري مع البروبيلين، والذي يتأكسد بعد ذلك لإنتاج الفينول، والأسيتون بشكل مشترك.

كانت عملية إنتاج الكيومين من البنزين العطري والبروبيلين تقنية مناسبة للبتروكيماويات. وعندما ازدهرت صناعة البتروكيماويات في الغرب، انتشرت هذه الطريقة في جميع أنحاء العالم، قبل ابتكار أساليب إنتاج الفينول بطريقة **راشيج** "Raschig Process "، وهي طريقة لتحضير مركب "الكلورو بنزين" من البنزين العطري، وحامض الهيدروكلوريك، ثم بتحلل الكلورو بنزين إلى الفينول بواسطة البخار. تم إنتاج الفينول باستخدام هذه التقنية في اليابان في عام 1959 من قبل شركة "ميتسوي للصناعات البتروكيماوية".

2.2.2.1.2. إنتاج الفيثاليك انهيدريد

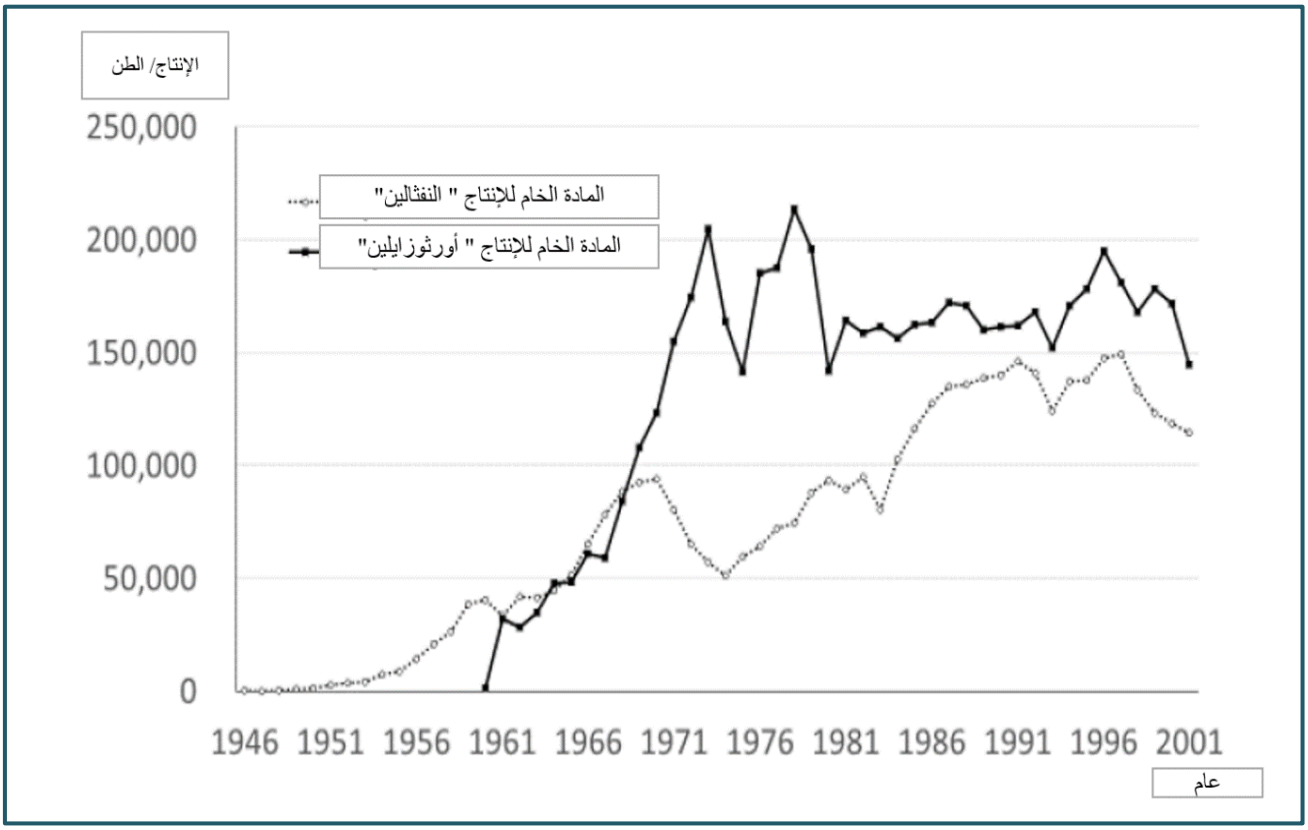
تم انتاج الفيثاليك انهيدريد بواسطة شركة "باسف" في عام 1896، عن طريق أكسدة نفثالين قطران الفحم، بواسطة حمض الكبريتيك المدخن " الأوليم". وفي عام 1916 تم تطوير عمليات الأكسدة الجوية "Atmospheric Oxidation"، باستخدام محفز أكسيد الفانديوم.

شهد تطور إنتاج راتنجات الألكيد المعدلة بالزيت في أواخر عشرينيات القرن الماضي زيادة في الطلب على الفيثاليك أنهيدريد. كما ساهمت زيادة نمو الطلب السريع في إنتاج البولي فينيل كلوريد بعد الحرب العالمية الثانية في تنامي الطلب على "إستر الفيثاليك" كملدن يستخدم لإنتاج البولي فينيل كلوريد المرن. وفي عام 1952، تم تطوير عملية "هنكل الأولى"،

لإنتاج الفيثاليك انهيدريد لإنتاج حمض التريفثاليك، وهو المادة الخام للبولي إستر. ومع ذلك، لم تصبح عملية "هنكل الأولى" طريقة سائدة لإنتاج حمض التيرفيثاليك، ولم يدم الطلب طويلاً على حمض التيرفيثاليك فتوقف الإنتاج بحلول أوائل السبعينيات.

بدأت شركة " نيبون شكوبي"Nippon Shokubai إنتاج الفيثاليك انهيدريد من "الأورثوزايلين" في عام 1960، بدأت بعدها عدد من الشركات في إنتاجه بهذه الطريقة، مما أدى إلى الانتشار السريع لهذه الطريقة في أواخر الستينيات. كان من المتوقع أن تتراجع طريقة إنتاج الفيثاليك أنهيدريد من نفثالين قطران الفحم، بعد نجاح إنتاجه من الأورثوزايلين، ومع ذلك وبعد أزمة النفط في سبعينيات القرن الماضي تم إحياء طريقة إنتاجه من النفثالين واستمرت في التنافس مع طريقة إنتاجه من الأورثوزايلين كما موضح في الشكل (10).

الشكل (10): تغير حجم إنتاج الفيثاليك انهيدريد حسب المادة الخام الأولية المستخدمة بعد الحرب العالمية الثانية



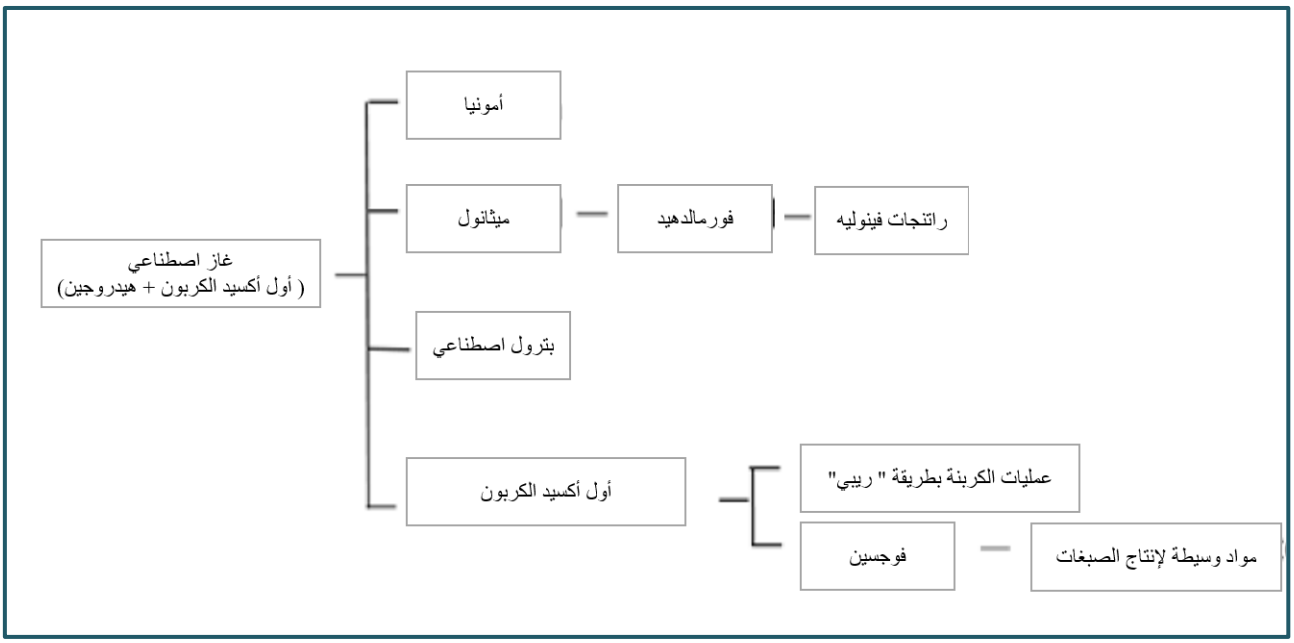
المصدر: Modelling coke formation in an industrial ethane-cracking furnace for ethylene production

3.2.1.2. إنتاج الأسمدة والكيماويات من غاز فحم الكوك الاصطناعي Coke Syngas

أنتج غاز فحم الكوك الاصطناعي "المشيد" من تفحيم الفحم، ويتكون بشكل أساسي من أول أكسيد الكربون، والهيدروجين. وبالتالي، أصبح إنتاج الكيماويات من غاز فحم الكوك الاصطناعي ثالث صناعة قائمة على الفحم.

بدأ إنتاج الأمونيا باستخدام الهيدروجين الناتج من غاز فحم الكوك في العقد الأول من القرن العشرين، تبع ذلك إنتاج واسع النطاق للميثانول. بدأ أيضاً إنتاج البترول الاصطناعي "Artificial Petroleum" من الغاز الاصطناعي في ألمانيا في ثلاثينيات القرن العشرين، بطريقة "فيشر تروبش"، مما ساهم في زيادة إنتاج الغاز الاصطناعي بشكل كبير. تم إنتاج "الفوسجين" من غاز أول أكسيد الكربون كمادة رابطة تستخدم في إنتاج مواد وسيطة للصبغات ومركبات أخرى بتفاعل أول أكسيد الكربون مع الكلور. تم استخدام تكنولوجيا إنتاج الفوسجين بعد الحرب العالمية الثانية للمساعدة في زيادة إنتاج الأيزوسيانات كمواد خام لإنتاج منتج البولي يوريثان. يبين الشكل (11) بعض أهم الصناعات القائمة على غاز فحم الكوك الاصطناعي.

الشكل (11): بعض أهم الصناعات القائمة على غاز فحم الكوك الاصطناعي



المصدر: Survey Reports on the Systemization of Technologies

1.3.2.1.2. إنتاج الميثانول والفورمالدهيد

تم اســـتخلاص الميثانول من حمض البيروليغنيوس " Pyroligneous Acid" الناتج من كربنة الخشـــب واســـتخدامه كمذيب، وكمادة خام أولية لإنتاج بعض المنتجات الكيميائية. بعد تصـــنيع الميثانول من الغاز الاصـــطناعي في ألمانيا في عام 1925، انتهى فجأة صـــناعة الميثانول من كربنة الخشـب. تعد تكنولوجيا تصـنيع الميثانول من الغاز هي امتداد لتكنولوجيا إنتاج الأمونيا تحت ظروف الضغط العالي.

أنتج الميثانول في اليابان في عام 1932 بواســطة شــركة " جوســاي كوجيو" Gosei Kogyo (الآن شــركة ميتســوي كيميكلز)، بناءً على نتائج أبحاث معهد "أبحاث النيتروجين" (الآن المعهد الوطني للعلوم والتكنولوجيا المتقدمة)، تبع ذلك إنتاجه بواســطة عدد من الشركات الأخرى التي دخلت الصناعة. كان الاستخدام الرئيسي للميثانول ولا يزال هو إنتاج الفورمالدهيد المستخدم في إنتاج راتنجات الفينول.

بدأت شركة " كيماويات غاز اليابان" Japan Gas Chemical (شركة ميتسوبيشي غاز للكيماويات، حالياً)، عام 1952 في إنتاج الغاز الاصــطناعي، والميثانول من الغاز الطبيعي، وكان هذا هو أساس صناعة البتروكيماويات اليابانية، وتطورت صناعة البتروكيماويات في اليابان باســتخدام هذا المورد المحلي النادر. وعلى الرغم من أن تقنية إنتاج الميثانول، من الغاز الاصطناعي تم تطويرها اعتمادا على غاز الفحم إلا أنها استمرت وتطورت في عصر البتروكيماويات.

3.1.2. إنتاج الكيماويات العضوية والبوليمرات من الدهون الحيوانية والزيوت

تهدف الكيمياء الزيتية "Oleochemicals" إلى إنتاج المواد الكيميائية من الدهون الحيوانية، أو من الزيوت النباتية. التسمية مشتقة من اللغة اللاتينية، حيث تعني كلمة "Oleo" كلمة الزيت. تعد منتجات الصــابون، والطلاء، والأصــباغ من المنتجات الكيميائية الرئيســية

المصـــنعة من الدهون، والزيوت والتي وجدت في حقبة ما قبل الصـــناعة الكيميائية الحديثة. يُنتج الصـــابون منذ القدم عن طريق غليان الدهون والزيوت في القلويات، إلى أن بدأ تطور إنتاج المنظفات الصناعية بشكل سريع من البتروكيماويات في حقبة الخمسينيات والستينيات من القرن الماضـي. ومع ذلك، فإن النمو السـريع للمنظفات الصـناعية كان مصـحوباً ببعض المشـكلات البيئية، والمتمثلة في التلوث الرغوي للأنهار، في كل من اليابان ودول أوروبا في السـتينيات، حتى بدأ إنتاج المواد الخافضـــة للتوتر السـطحي للدهون والزيت القابلة للتحلل بيولوجياً، للتغلب على تلك المشكلات البيئية.

1.3.1.2. انتاج راتنجات الألكيد المعدلة بالزيت "Oil-Modified Alkyd Resin"

أُنتجت راتنجات الألكيد المعدلة بالزيت بديلا لطلاءات النيتروسـليلوز، نمت أسـواق هذا الطلاء فجأة في عشـرينيات القرن الماضـي، جنباً إلى جنب مع صـناعة السـيارات الأمريكية المزدهرة في ذلك الوقت، نظراً لأنه سـريع الجفاف، كما أنه يتميز بمقاومته للعوامل الجوية. أنتج خليط مكون من راتنجات الألكيد، والراتنجات الأمينية (راتنجات الميلامين فورمالدهيد، وراتنجات اليوريا فورمالدهيد) بعد الحرب في عام 1948، لإنتاج أنواع جديدة لطلاء الأسطح المعدنية، لتوفير الحماية من الكيماويات، والتآكل، وتقليل الاحتكاك. ومع الانتقال إلى صـناعة البتروكيماويات والتوســع فيها، بدأ اســتخدام عدد من البوليمرات البتروكيماوية في إنتاج الطلاءات، مما قلل بشـكل كبير من الدور الذي تلعبه الطلاءات القائمة على الأسـاس الزيتي "Oil Base".

مع ارتفاع أسعار النفط الخام في أواخر السبعينيات، تحول بعض منتجي البتروكيماويات مره أخرى إلى المواد الكيميائية المنتجة من الزيوت، نظراً لانخفاض أسـعار زيت النخيل في ذلك الوقت. ومازال يسـتخدم زيت النخيل في إنتاج بعض أنواع المنظفات، ومواد العناية الشخصية مثل معجون الأسنان، والصابون، وبعض أنواع الكريمات، والشامبو.

شـهدت السـنوات الأخيرة تغييرات كبيرة تجاه توسـع اسـتخدامات "الكيمياء الزيتية"، خاصـة بعد تبني دول الاتحاد الأوروبي سياسات انتاج الديزل الحيوي في عام 2003، بهدف خفض نسـب الانبعاثات الملوثة للهواء، وغازات الاحتباس الحراري، عن طريق التوسـع في اسـتخدام الديزل الحيوي المنتج من زيت النخيل، وزيت بذور اللفت، وزيت عباد الشـمس وغيرها من المصـادر النباتية المماثلة، مما سـاهم في زيادة إنتاج زيت النخيل من 300 ألف طن في عام 1995 إلى حوالي 41 مليون طن في عام 2009.

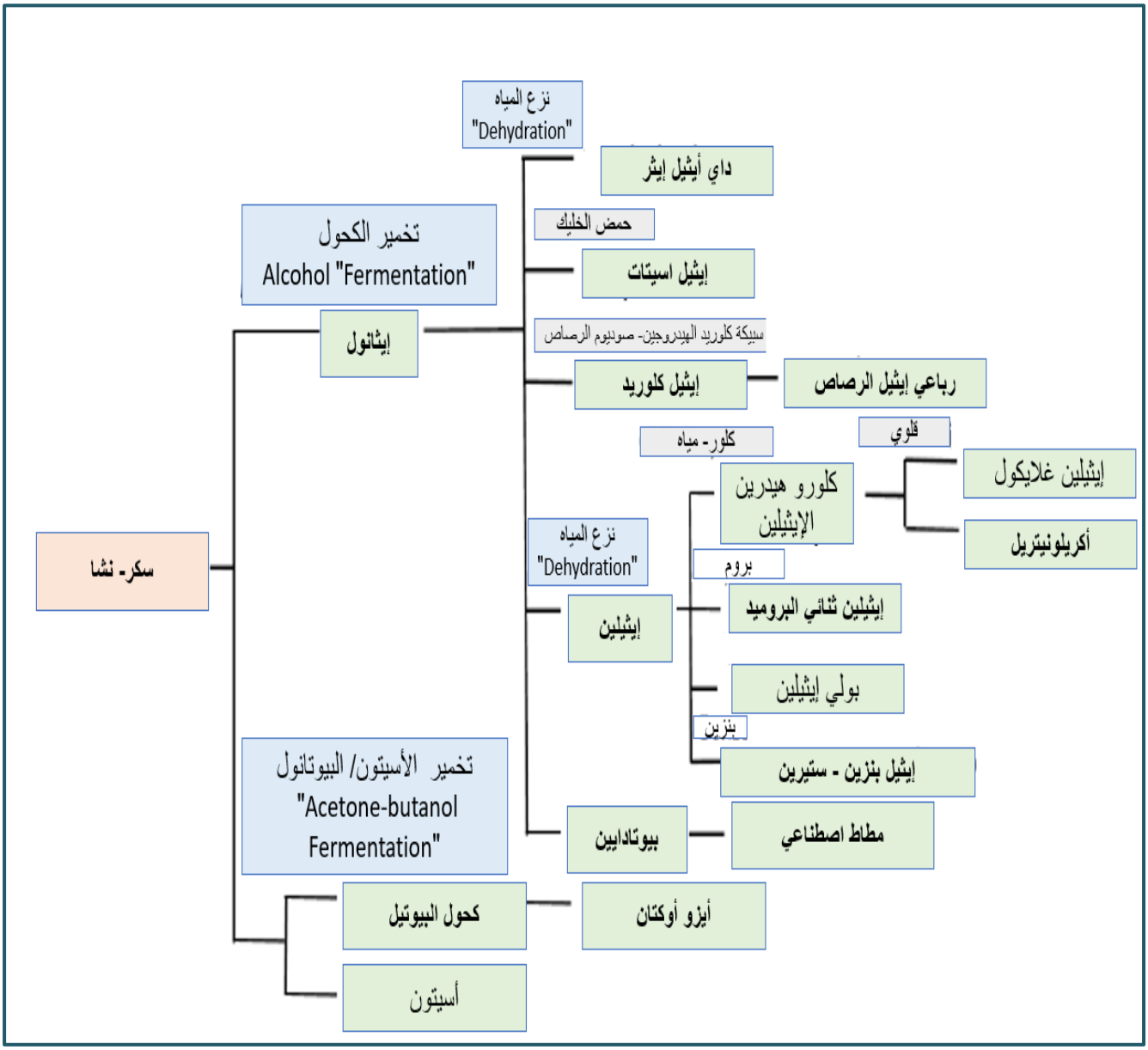
4.1.2. إنتاج الكيماويات العضوية والبوليمرات بتقنيات التخمر

يقصـد بالصـناعات التخمرية الميكروبية اسـتخدام الكائنات الحية الدقيقة تحت ظروف هوائية أو لاهوائية محكمة، لإنتاج مواد نافعة ذات قيمة اقتصـادية على النطاق التجاري، ومن وجهة النظر الصناعية فإن الكائنات الحية الدقيقة عبارة عن مصنع كيميائي قادر على إحداث تغيرات مرغوب فيها في الوسـط الذي تعيش فيه، بما تفرزه من أنزيمات تؤثر على المواد الخام رخيصـة الثمن والتي هي جزء من البيئة التي تنمو عليها وتحولها إلى نواتج ذات أهمية اقتصـادية يتم فصـلها والاستفادة منها. يوجد اليوم عدد من المواد الكيماوية والحيوية التي تنتج عن طريق الصناعات التخمرية والكثير منها ذو أهمية طبية، واقتصادية، وتجارية كبيرة مثل إنتاج الكحولات، والأحماض العضـوية والأمينية، والمضـادات الحيوية، والأنزيمات، والبوليمرات [15].

تشمل المواد الكيميائية العضوية الصناعية الناتجة عن عملية تخمر السكريات أو النشا، كل من الإيثانول، والأسـيتون، والبيوتانول. زاد إنتاج الإيثانول والبيوتانول الحيوي خلال فترة العشـرينيات إلى الأربعينيات من القرن الماضـي واسـتخدامه كوقود بديل للغازولين، كما استخدم أيضاً لتحسين رقم الأوكتان للغازولين، في عدد من دول العالم وفقاً لسياساتها البيئية.

بدأ الاهتمام المتزايد في أوروبا بالكحول الحيوي " اللامائي" كوقود بديل خلال فترة الحرب العالمية الأولى. وسـنت كل من ألمانيا، وفرنسـا، وإيطاليا ودول أوروبية أخرى سياسات إجبارية لخلط الكحول الحيوي بالغازولين بنسب وصلت إلى أكثر من 20 %. ونظراً لوجود وفرة من منتج الإيثانول الحيوي في تلك الفترة، فقد ظهرت عدة صـناعات كيميائية اعتمادا عليه كمادة خام أولية كما هو موضح في الشكل (12).

الشكل (12): أهم الصناعات الكيماوية القائمة على تخمر السكر- النشا



المصدر: Second-Generation Bioethanol Production

زاد الطلب على الإيثانول الحيوي في الصـــناعات الكيماوية خلال الفترة من 1935 إلى 1939، وتم إنتاج الإيثيلين عن طريق نزع المياه " تجفيف الإيثانول "Dehydration، كما تم إنتاج كل من الإيثيلين كلورو هيدرين، والإيثيلين غلايكول كمادة مضـــادة للتجمد، والإيثيلين بروميد، بالإضافة إلى إنتاج رباعي إيثيل الرصاص كمحسن لرقم الأوكتان.

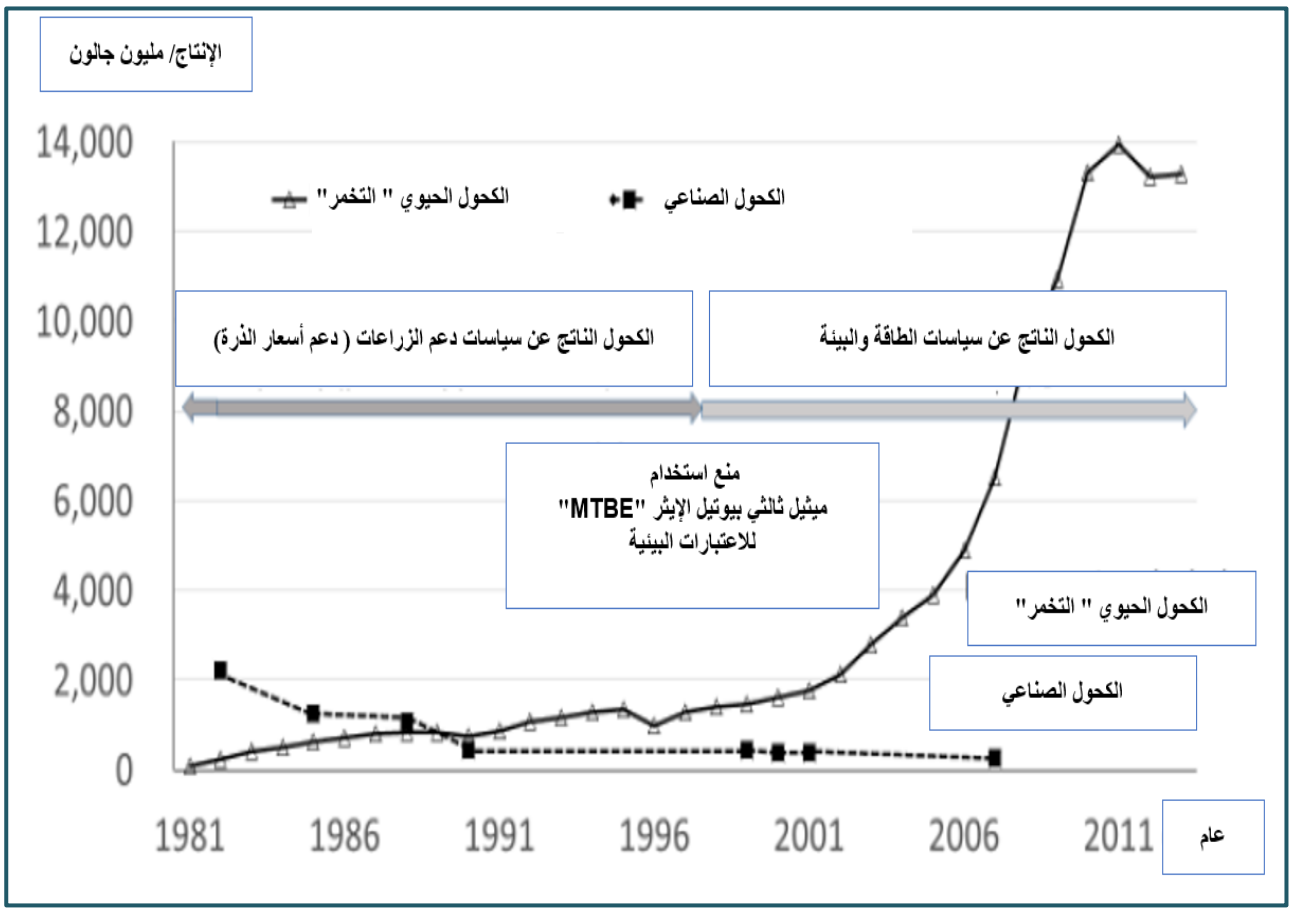
فيما تم إنتاج "الأكريلونيتريل" من تفاعل الإيثيلين كلوروهيدرين مع سيانيد الهيدروجين. كـان لاســـتخدام تكنولوجيـا التقطير الأيزوتروبي للإيثـانول الحيوي دوراً كبيراً في تطوير تكنولوجيا التقطير "المبرد" التي طورته فيما بعد شـــركة "ليندا" الألمانية، وأصـــبحت هذه التكنولوجيـا فيمـا بعـد من التكنولوجيـات الأســـاســـيـة التي لا غنى عنهـا في صـــنـاعـة البتروكيماويات.

لم تنتعش الصـــناعات الكيماوية القائمة على الإيثانول الحيوي مع انتهاء الحرب العالمية الثانية، خاصـة مع تلاشـي الطلب على الوقود البديل للغازولين، وظل إنتاج الإيثانول الحيوي في حالة ركود لفترة طويلة. شـــهدت فترة أواخر الســـتينيات من القرن الماضـــي بداية إنتاج الإيثانول الصـــناعي (الكحول الصـــناعي) من الإيثيلين، وخلال فترة زمنية وجيزة أصـــبح الإيثانول الصناعي هو السائد، وحل محل الإيثانول الحيوي.

انتعش مره أخرى إنتاج الإيثانول الحيوي في البرازيل في ســـبعينيات القرن الماضـــي نتيجة أزمة النفط في ذلك الوقت، فيما شـــهدت الولايات المتحدة في العقد الأول من القرن الحادي والعشرين انتعاشاً وتطوراً كبيراً، بعد أن وضعت سياسات وتشريعات واسعة النطاق لإضـــافة وخلط الإيثـانول الحيوي مع الغـازولين كـإجراء بيئي احترازي يهدف إلى خفض الانبعاثات الملوثة للبيئة الناتجة عن محركات السيارات، ووسيلة أكثر أماناً لرفع وتحسين قيم رقم الأوكتان للغازولين. أدت هذه الســياســـات إلى زيادة إنتاج الإيثانول الحيوي في الولايات المتحدة الأمريكية من المحاصـــيل الزراعية، خاصـــة من الذرة. وبلغ حجم إنتاج الإيثانول الحيوي في الولايات المتحدة في عام 2010 نحو 25 مليون طن سنوياً، وهو ما يعادل حوالي

3 أضـعاف إنتاج البرازيل من الإيثانول الحيوي المنتج من قصـب السـكر. يبين الشـكل (13) تطور حجم إنتاج الإيثانول الحيوي في الولايات المتحدة.

الشكل (13): تطور حجم إنتاج الإيثانول الحيوي في الولايات المتحدة



المصدر: https://www.ers.usda.gov/data-products/us-bioenergy-statistics/

1.4.1.2. إنتاج البولي إيثيلين من الإيثانول الحيوي

تم اختراع منتج البولي إيثيلين منخفض الكثافة "LDPE" وإنتاجه لأول مره من الإيثانول الحيوي في عام 1933 بواسطة شركة " أي سي أي" ICI البريطانية، وبدء تصنيعه في عام 1939. تم إنتاج حوالي 100 طن في عام 1940، واستخدم في إنتاج مواد عازلة فائقة الجودة للرادارات عالية التردد، إلى أن قامت الشركة بتزويد شركة "دوبونت" الأمريكية بتكنولوجيا

إنتاجه، وعلى ضـــوء ذلك تم بناء مصـــنع في الولايات المتحدة الأمريكية عام 1943 بطاقة إنتاجية حوالي 900 طن سنويًا.

بينما عُرف البولي إيثيلين منخفض الكثافة لأول مره في اليابان في عام 1942، بعد الحصـول على كابل رادار من الجيش الأمريكي. وأصـبح بعدها إنتاج البولي إيثيلين منخفض الكثافة محلياً قضـــية ملحة في اليابان، بدأ معها مرحلة البحث العلمي في عام 1943، بتكوين ثلاث مجموعات علمية بقيادة البروفيســور "يوكيتشـــي جو" من جامعة أوســاكا وميتســوي للكيمـاويـات، والـدكتور "تـايزو كوم" من معهـد "نوغوتشـــي ونيبون شـــيســـو هيريو"، والبروفيسور "كوداما شينجيرو" من جامعة كيوتو وسوميتومو كيميكال. نجح الفريق العلمي الياباني في بدء إنتاج البولي إيثيلين منخفض الكثافة عملياً في أوائل عام 1945، بتكنولوجيا يابانية ارتكزت على نتائج أنشطة البحث العلمي.

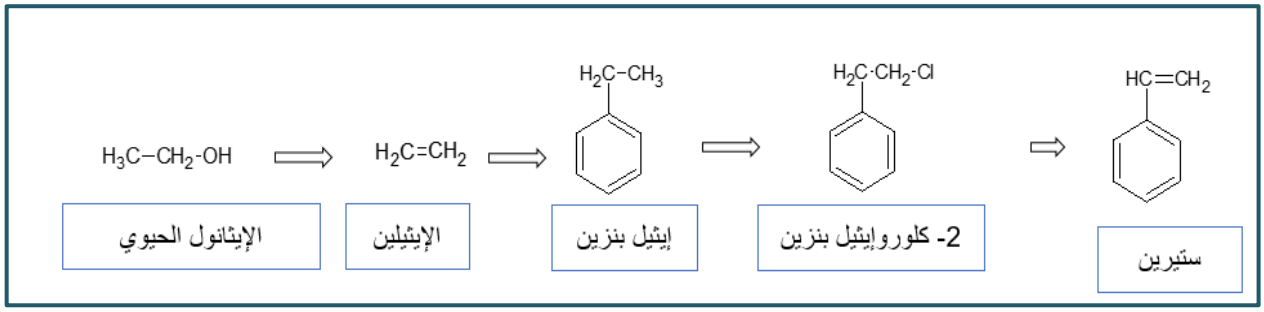
بعد الحرب العالمية الثانية بدأ البحث العلمي مرة أخرى في اليابان دراســـات وأبحاث لاســـتنباط تكنولوجيا جديدة لإنتاج البولي إيثيلين منخفض الكثافة من الإيثانول الحيوي، حيث تولت جامعة "كيوتو" تجارب تصـــنيع مســـتمرة خلال الفترة من 1951 إلى 1953، إلى أن نجحت في انتاج 10 كجم/ يوم. بناءً على نتائج هذه النتائج، قامت شركة "سوموتو كيميكال" اليابانية في عام 1953 ببناء وتشـغيل أول مصـنع على النطاق التجريبي بطاقة إنتاجية حوالي 3 طن شـهرياً في مصـنعها في منطقة "نييهاما"، مما جعل شـركة " أي سـي أي" البريطانية تختارها كشريك لترخيص التكنولوجيا في اليابان.

2.4.1.2. إنتاج البولي ستيرين

كان التحدي الرئيســـي لإنتاج البولي ســـتيرين هو كيفية التوصـــل إلى طريقة لإنتاج مونومير الستيرين، إلى أن بدأت شـركة "أي جي فابرين"IG Farben الألمانية في إنتاجه في أوائل الثلاثينيات من القرن العشـــرين باســـتخدام طريقة نزع الهيدروجين من الإيثيل بنزين

بمحفز الألومينا – الكروميا، كما في الشـكل (14). في حين تم انتاج الإيثيل بنزين من كل من الإيثيلين الحيوي، والبنزين العطري باستخدام محفز كلوريد الألومنيوم.

الشكل (14): الإنتاج الصناعي للستيرين باستخدام طريقة نزع الهيدروجين من الإيثيل بنزين



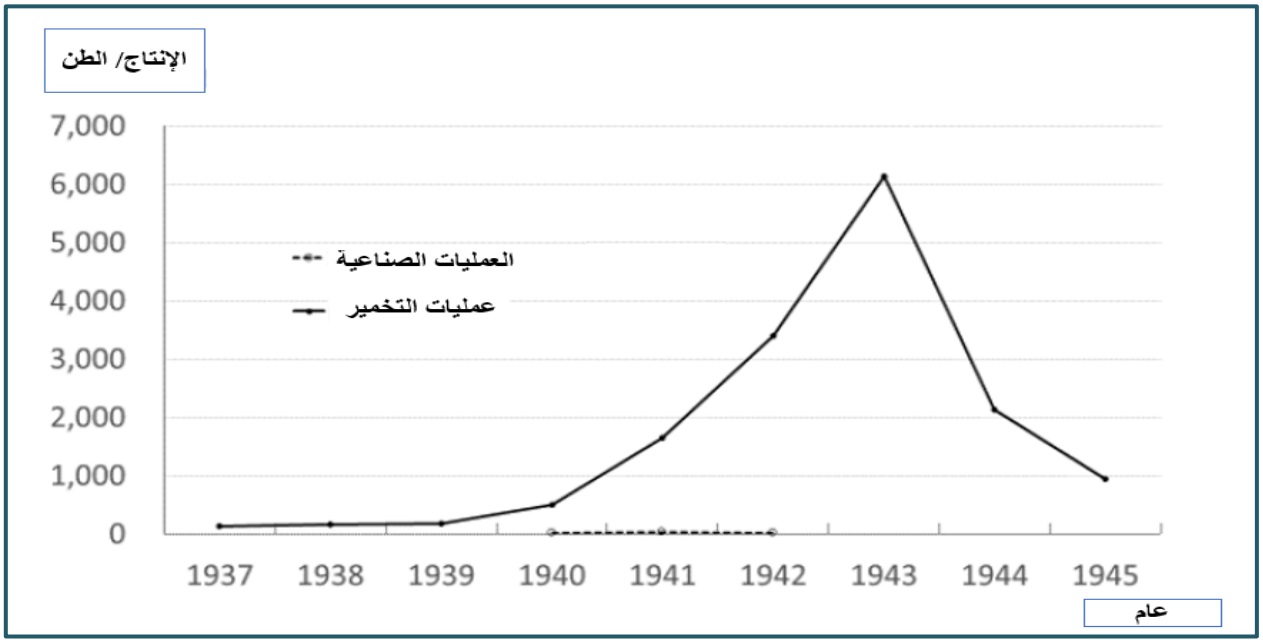
5.1.2. إنتاج البيوتانول والأسيتون بالتخمر "Fermentation Acetone/Butanol "

اكتشـف العالم الفرنسـي "لويس باسـتور"، طرق انتاج البيوتانول والأسـيتون باسـتخدام البكتيريا اللاهوائية خلال الحرب العالمية الأولى، تمكنت بعدها جامعة "مانشـسـتر" في عام 1912 من عزل سـلالة قوية من البكتيريا، والحصـول على براءة اختراع لطريقة إنتاج الأسـيتون، والبيوتانول في عام 1915 باسـتخدام هذه السـلالة. كان إنتاج الأسـيتون ضـروريًا خلال هذه الفترة لتصنيع الذخيرة "البارود". بينما اخترعت شركة " دي بونت" DuPont في عام 1920، طلاء النيتروسـليلوز باسـتخدام البيوتيل أسـيتات كمذيب، مما أدى إلى إنتاج الأسيتون/ البيوتانول بطرق التخمير على نطاق واسع في الولايات المتحدة الأمريكية.

أسس في اليابان كل من العالم " تاكارا شوزو، ووداي نيبون شوروي سيزو" معاً معهد خاص بأبحاث إنتاج وقود الطيران من البيوتانول. ساعد ذلك في بناء مصنع "جودو شوسي" Godo Shusei على مستوى النطاق التجريبي لإنتاج الأسيتون والبيوتانول، في مدينة "أساهي كاوا"، وهو تابع لشـركات خاصـة وليس للحكومة. تم في عام 1943 تحويل مصـنع " تويوبو"Toyobo في مدينة "هوفو" Hofu إلى إنتاج الأسيتون / البيوتانول والأيزوكتان. وزاد

الطلب على البيوتانول في اليابان بسرعة نظراً لنمو الطلب المتزايد على الملدنات"Plasticizers" المستخدمة في تصنيع منتجات البولي فينيل كلوريد المرنة، مما أدى إلى انتعاش سريع لإنتاج الأسيتون/ البيوتانول. يبين الشكل (15) تطور إنتاج البيوتانول في اليابان خلال الحرب العالمية الثانية.

الشكل (15): تطور إنتاج البيوتانول في اليابان خلال الحرب العالمية الثانية



المصدر: Survey Reports on the Systemization of Technologies

استمر تنامي الطلب على كل من البيوتانول والأسيتون الحيوي حتى ظهور طرق التصنيع البتروكيماوية عام 1962، ومع توقع انخفاض تكلفة إنتاج البتروكيماويات، بدأ سعر الأسيتون والبيوتانول في الانخفاض. وفقاً لذلك، تخلت الشركات التي تعمل بطرق التخمير عن مشروعاتها وبدأت في التحول بسرعة إلى نشاط البتروكيماويات. ونتج عن ذلك توقف إنتاج الأسيتون والبيوتانول الحيوي بطرق التخمر في غضون عامين من بدء طرق التصنيع البتروكيماوية. لم يستمر إنتاج الأسيتون / البيوتانول الحيوي بالتخمر في أي مكان في العالم حتى الآن، على عكس إنتاج الإيثانول بطرق التخمر.

الفصل الثالث

تطور صناعة البتروكيماويات

الفصل الثالث

تطور صناعة البتروكيماويات

3. تمهيد

لم تستطع المصادر غير النفطية من قطران الفحم، والزيوت والدهون، والكتلة الحيوية، والمصادر الأخرى من توفير المواد الخام الأولية اللازمة لتلبية الطلب المتنامي على الكيماويات والبوليمرات، لذا كان لابد من البحث عن مصادر أولية أخري اقتصادية لمواجهة هذا التحدي. نجحت أنشطة البحث والتطوير في صناعة الكيماويات في توفير مصادر جديدة من المصادر النفطية من الغاز الطبيعي والمشتقات البترولية الخفيفة لتلبية تلك الاحتياجات المتزايدة.

بعد نشأة صناعة البتروكيماويات في عشرينيات القرن الماضي في الولايات المتحدة الأمريكية، ومع بداية اختراقها وانتشارها في دول أوروبا في الخمسينيات، ومع دمج التكنولوجيا الأوروبية مع التكنولوجيا الأمريكية تغير بشكل كبير شكل ومواصفات، وجودة منتجات الكيماويات والبوليمرات. وشهدت فترة الستينيات نشاط الباحثين لتطوير سلسلة جديدة من التكنولوجيات التي أتاحت إنتاج الكيماويات، والبوليمرات بتكلفة منخفضة، وتفوقت كيمياء البتروكيماويات سريعاً على تكنولوجيات كيمياء الفحم، وكيمياء الزيوت والدهون، والكيمياء الحيوية في توفير مواد أولية منخفضة التكلفة من المصادر النفطية، مقارنة بالمصادر الأخرى غير النفطية. كما نجحت صناعة البتروكيماويات في زيادة وتنوع إنتاجها على مستوى العالم، مما أهلها لريادة مشهد الصناعة.

بعد اكتشاف النفط الخام في دول الشرق الأوسط في ثلاثينيات القرن الماضي، وبداية صادراته لدول العالم في الخمسينيات، أصبح النفط الخام ومشتقاته مصدر أرخص للطاقة من الفحم والمصادر الأخرى المستخدمة في تلك الفترة. وأصبحت دول منطقة الشرق الأوسط قادرة على تطوير هذه الصناعة، وزاد الإنتاج بها بشكل متصاعد، مع إضافة طاقات إنتاجية جديدة، مستفيدةً بميزة وفرة مواد خام أولية منخفضة التكلفة من الغاز الطبيعي، والمشتقات

البترولية السائلة، وبأسعار تنافسية، علاوة على تميز موقعها الجغرافي بين دول الشرق والغرب، مما ساهم بشكل رئيسي في تغيير مشهد صناعة البتروكيماويات.

عانت في تلك الفترة دول أوروبا ودول أخرى والتي لا تمتلك موارد طبيعية منخفضة التكلفة من أجل البقاء والحفاظ على ريادتها في أسواق البتروكيماويات العالمية. ولكنها تمكنت من السيطرة بفعالية على صناعة تكنولوجيا البتروكيماويات العالمية، وزيادة نمو صناعة البتروكيماويات، والنمو الاقتصادي العالمي من خلال زيادة أنشطة البحث العلمي لتطوير تكنولوجيات جديدة لإنتاج البتروكيماويات وتمركز تلك الصناعة بها.

ساهم البحث العلمي بشكل رئيسي في تقدم ونهضة صناعة تكرير البترول، والبتروكيماويات العالمية، وتظل الحاجة تتزايد بشكل كبير إلى مزيد من البحث العلمي، وخاصة إذا ما أرادت الشركات العالمية البقاء في هذه الصناعة التنافسية المتطورة باستمرار، في ظل تداعيات تقلبات أسعار النفط والغاز، وتغيرات الجغرافيا السياسية، وعدم اليقين الاقتصادي. وواجهت صناعة البتروكيماويات في السبعينيات من القرن الماضي بعض الأزمات والتحديات التي كان من الممكن أن تعرقل مسيرة تطورها مثل تناول بعض القضايا البيئية، إلا أن الصناعة استطاعت أن تواجه تلك التحديات وأن تحافظ على مكانتها من خلال البحث العلمي وتقديم حلول علمية تقنية للتغلب على هذه المشكلات. ساهمت تلك الأزمات جزئياً في إحياء بعض الصناعات التي تعتمد على تقنيات كيمياء الدهون والزيوت، وكيمياء التخمر مره أخرى، تزامن ذلك أيضاً مع محاولة بعض الدول، مثل الصين، من وضع تدابير سياسية لاستعادة كيمياء الفحم من أجل الحفاظ على أمنها الاقتصادي.

يمثل أيضاً تعظيم إنتاج غاز السجيل " الصخري" في الولايات المتحدة مثال جيد على دور التقدم التكنولوجي في الوصول إلى احتياطيات كانت غير مجدية اقتصادياً، وأثر ذلك في تعزيز تنافسية شركات البتروكيماويات الأمريكية، الأمر الذي ترتب عليه زيادة حدة المنافسة في الأسواق العالمية.

بينما توفر التكنولوجيا فرصا متنوعة للدول المتقدمة، والنامية على حد سواء لتحقيق مستويات متميزة من التنمية، أصبح نقل التكنولوجيا للعديد من الدول النامية هدفا استراتيجيا. ومع ذلك، يعتمد نجاح نقل التكنولوجيا، إلى حد كبير، على القطاعات المستوعبة لهذه التكنولوجيا، ومدى قابليتها للتطبيق التكنولوجي، بالإضافة إلى توفر البنية التحتية المناسبة اللازمة [5].

1.3. دور التكنولوجيا في صناعات البتروكيماويات

تعد صناعة البتروكيماويات صناعة متخصصة ذات طبيعة خاصة، والكثير من الابتكارات التكنولوجية في الصناعة كان نتيجة تحول مخرجات أبحاث الكيمياء البحتة إلى التكنولوجيات والأنشطة الأساسية المستخدمة حالياً في صناعة البتروكيماويات. وقد مهدت بالفعل التكنولوجيا في البداية الطريق إلى تطور صناعة البتروكيماويات، وساهمت في الانتقال من الصناعات القائمة على المنتجات الخام الأولية من نواتج تقطير الفحم، والتخمر الكيميائي إلى الصناعات القائمة على مشتقات النفط والغاز الطبيعي، مما ساهم بشكل مباشر في التغيرات الديناميكية لمشهد صناعة البتروكيماويات العالمي. وتتميز مشروعات البتروكيماويات الحديثة بأنها ذات تكلفة رأسمالية كبيرة.

كما تميزت مشروعات البتروكيماويات الجديدة بانها على هيئة مجمعات "Complexes" ذات طاقات إنتاجية مرتفعة، تعتمد على استخدم أحدث التكنولوجيات التجارية، مدفوعة بميزة رخص أسعار المواد الأولية المتاحة [6]. وتحتاج مواقع إنشاء هذه المجمعات إلى تأمين اللوجستيات لضمان استدامة توفير المواد الخام الأولية، وتوريد المنتجات النهائية بسهولة، وبالتالي تحقيق عوائد استثمار محفزة على فترات زمنية طويلة [7].

يعمل عدد كبير من شركات النفط والغاز الرئيسية العالمية في صناعة البتروكيماويات، وكانت في طليعة الشركات المطورة، وهي حالياً من كبار منتجي البتروكيماويات، بالإضافة

إلى ذلك، أصبحت بعض شركات النفط الوطنية نشطة بشكل متزايد في إنتاج البتروكيماويات، كما تقوم شركات الكيماويات المتخصصة بإنتاج مجموعة واسعة من السلع والبتروكيماويات المتخصصة [6].

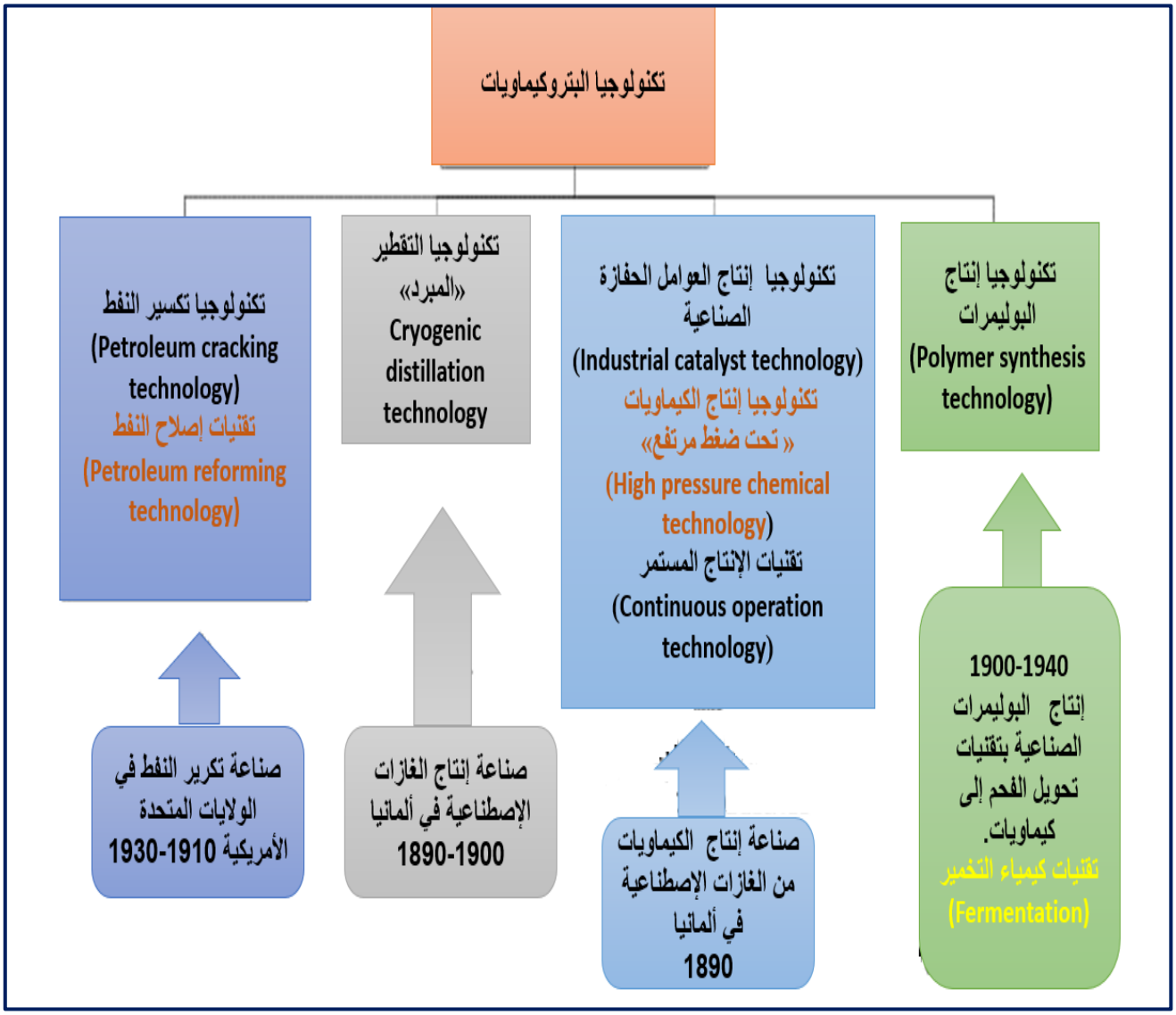
نما الطلب العالمي على البتروكيماويات، وهيمنت بسرعة هذه الصناعة على الأسواق العالمية على مدى السنوات الأخيرة. وظلت صناعة البترول والبتروكيماويات (ويشار إليها أيضاً باسم بي & بي-Petroleum & Petrochemical - عاملا رئيسيا وراء ازدهار ونمو اقتصادات عدد كبير من الدول الصناعية الكبرى. ومع ذلك، واجهت الصناعة مؤخراً العديد من التحديات، فعلى سبيل المثال، زادت تكلفة إنتاج برميل النفط بنسبة 60٪ عما كانت عليه قبل 10 سنوات. وانخفضت أسعار النفط بنسبة 70٪ تقريبًا منذ بلوغها ذروة الانخفاضات في عام 2014، وغيرها من الأحداث الدولية، مثل الحرب التجارية بين الصين، والولايات المتحدة، والصراعات الجيوسياسية المختلفة في أنحاء العالم، ومع تفشي جائحة كورونا في نهاية عام 2019، وبداية عام 2020، التي أدت إلى مزيد من تقلبات أسعار النفط، وزيادة عدم اليقين داخل هذه الصناعة. إن انخفاض اسعار النفط يمثل كل من التحدي والفرص لهذه الصناعة، ومن المتوقع أن يؤدي استمرار انخفاض أسعار النفط إلى الحاجة إلى مزيد من الابتكارات لصناعة البترول والبتروكيماويات.

تمثل صناعة البتروكيماويات من حيث حجم الإنتاج حوالي 10٪ من إجمالي صناعة تكرير البترول، ولكن تمثل قيمة منتجات البتروكيماويات حصة أكبر من إجمالي الصناعة، مما يعكس القيمة المضافة الأعلى لمنتجات البتروكيماويات مقارنة بقيمة منتجات الوقود البترولية التقليدية.

2.3 أسس تكنولوجيات إنتاج البتروكيماويات

أرست عدد من التكنولوجيات أسس انطلاق وتأسيس صناعة البتروكيماويات العالمية. وشملت أربع مجالات رئيسية، وهي تكنولوجيا تكسير النفط، وتكنولوجيا إصلاح النفط، وتكنولوجيا التقطير المبرد، وتكنولوجيات إنتاج العوامل الحفازة، الضغط العالي، والتشغيل المستمر، وتكنولوجيا إنتاج البوليمرات كما في الشكل (16) [11].

الشكل (16): المجالات الأربعة التي شكلت أساس إنشاء وتطوير البتروكيماويات على نطاق واسع



المصدر: Systematic Survey on Petrochemical Technology

1.2.3. تكنولوجيا تكسير النفط وتكنولوجيا إصلاح النفط

"Petroleum Cracking Technology & Petroleum Reforming Technology"

بدأ تطوير هذه التكنولوجيات في الولايات المتحدة الأمريكية في أوائل القرن التاسع عشر لإنتاج أكبر قدر ممكن من الغازولين عالي الجودة. ترتبط هذه التكنولوجيات بتقنيات التكسير البخاري، وتكنولوجيا إنتاج العطريات، والتي أصبحت تشكل فيما بعد التكنولوجيات الرئيسية لإنتاج البتروكيماويات الأساسية [11]. كما أسفرت هذه ا العمليات عن إنتاج منتجات ثانوية غازية تم استخدامها في البداية كوقود، ولكن استخدمت فيما بعد كمواد أولية لإنتاج البوليمرات في العشرينيات والثلاثينيات من القرن الماضي.

2.2.3. تكنولوجيا التقطير المبرد "Cryogenic Distillation Technology "

اكتملت العمليات الصناعية لتسييل الهواء في ألمانيا عام 1895بواسطة شركة "**ليندا**"، وأعقب ذلك مبادرات لتطوير تكنولوجيا التقطير المبرد في عام 1902، وفيها تستخدم عملية تسييل الهواء لفصل الغازات عن الهواء وإنتاج غازات الأكسجين، والنيتروجين، والهيدروجين، والأرجون في الحالة الغازية أو السائلة، وتعد شكل من أشكال التقطير الفراغي. تم انتاج واستخدام الأكسجين النقي في أعمال اللحامات والتقطيع، وبدأ استخدام الأكسجين في منتصف القرن العشرين بكميات كبيرة في أفران التحويل " Converter Furnaces"، كما استخدم الهيدروجين في هدرجة الدهون والزيوت، واستخدم النيتروجين النقي في إنتاج الأمونيا، والأسمدة.

كانت تكنولوجيا التقطير المبرد ضرورية، وداعمة لصناعة البتروكيماويات، خاصة في عمليات الفصل الدقيق للغازات المختلفة الناتجة من عمليات التكسير البخاري للنافثا، وعمليات فصل غاز الإيثان بالتجزئة من الغاز الطبيعي، وكذلك عمليات الفصل الدقيق بين

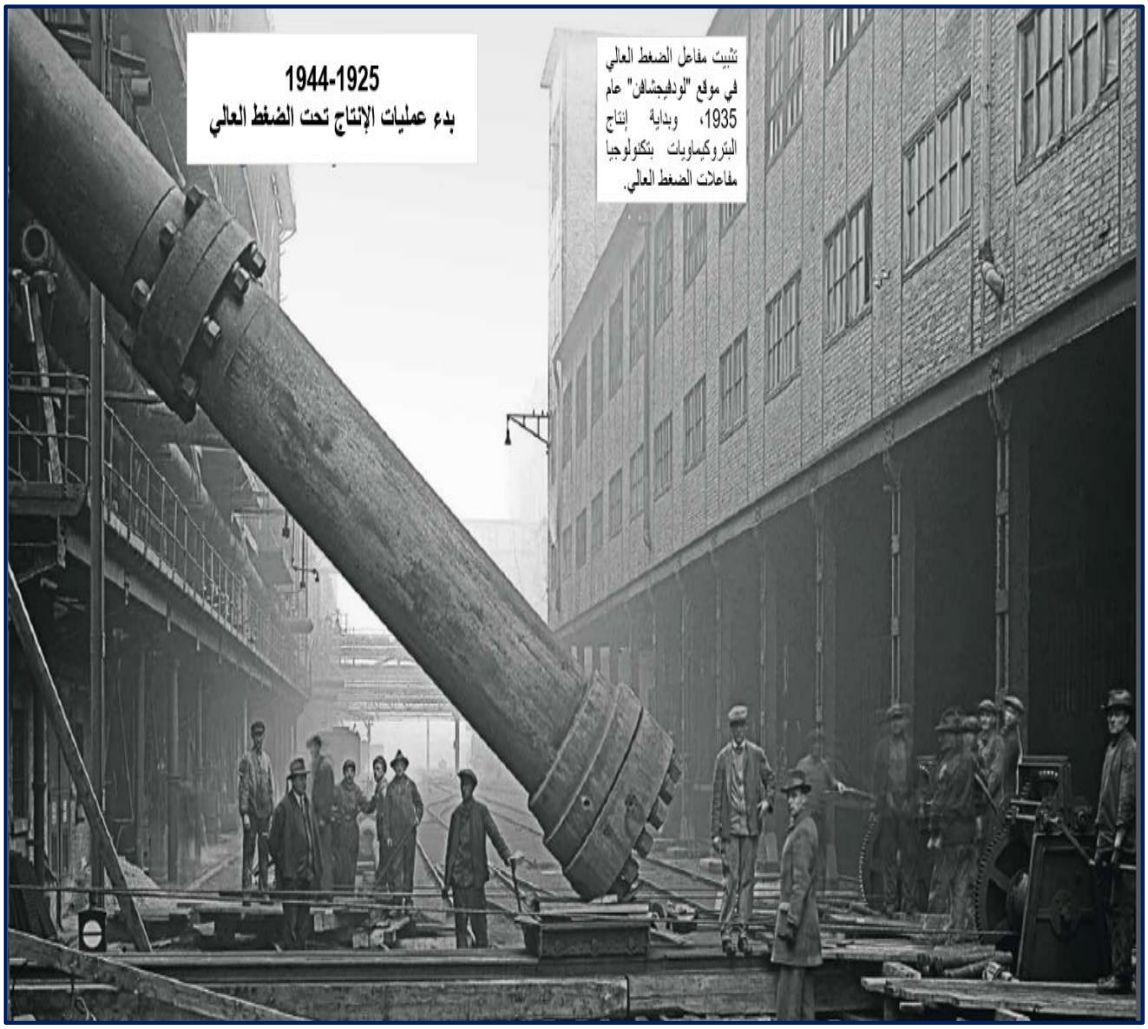
غاز الإيثان، والإيثيلين، وغاز البروبان، والبروبيلين. وتعد هذه التكنولوجيا من أبرز الأمثلة على دور وكيفية دعم تكنولوجيات الصناعات السابقة في تأسيس صناعة البتروكيماويات[11].

3.2.3. تكنولوجيات إنتاج العوامل الحفازة، الضغط العالي، والتشغيل المستمر

بدأ استخدام تكنولوجيا العوامل الحفازة، وتكنولوجيا الإنتاج تحت الضغط العالي في عام 1910 مع بدء إنتاج الأمونيا، ثم أصبحت هذه التكنولوجيات فيما بعد تلعب دوراً متزايداً وهاماً في صناعة البتروكيماويات. بدأت تقريباً جميع المنتجات والعمليات الجديدة بسبب تطوير العوامل الحفازة عبر تاريخ تطور إنتاج البتروكيماويات. كما وضعت تكنولوجيا الضغط العالي علامة فارقة في مجال صناعة البتروكيماويات في ثلاثينيات القرن الماضي مع بداية استخدام تكنولوجيا إنتاج البولي إيثيلين منخفض الكثافة.

تعمل أغلب المعدات المستخدمة في إنتاج البتروكيماويات تحت ضغوط عالية، وتتميز بإنتاجيتها المرتفعة، لذا تعد طرق الإنتاج تحت الضغط العالي واحدة من أبرز التكنولوجيات الأساسية في صناعة البتروكيماويات. يبين الشكل (17) تثبيت أول مفاعل ضغط عالي لشركة باسف في موقع " لودفيجشافن" عام 1935.

الشكل (17): تثبيت أول مفاعل ضغط عالي لشركة باسف في موقع " لودفيجشافن" عام 1935



المصدر: BASF History, 1865 – 2015

بينما يعود استخدام تكنولوجيا "التشغيل المستمر للتفاعل المتتابع " Continuous Operation Technology"، وتكنولوجيا فصل وتنقية الغازات من السوائل، إلى عام 1867، مع بدء استخدام "عملية سولفاي" لإنتاج الأمونيا، ومع ذلك فقد تم تطوير هذه التكنولوجيا لإنتاج الأمونيا، والميثانول، والزيوت الاصطناعية. وتعد هذه التكنولوجيا هي التكنولوجيا التي أرست أسس العمليات المستمرة المستخدمة حالياً في إنتاج البتروكيماويات على نطاق واسع [(11)].

4.2.3. تكنولوجيا إنتاج البوليمرات "Polymer Synthesis Technology"

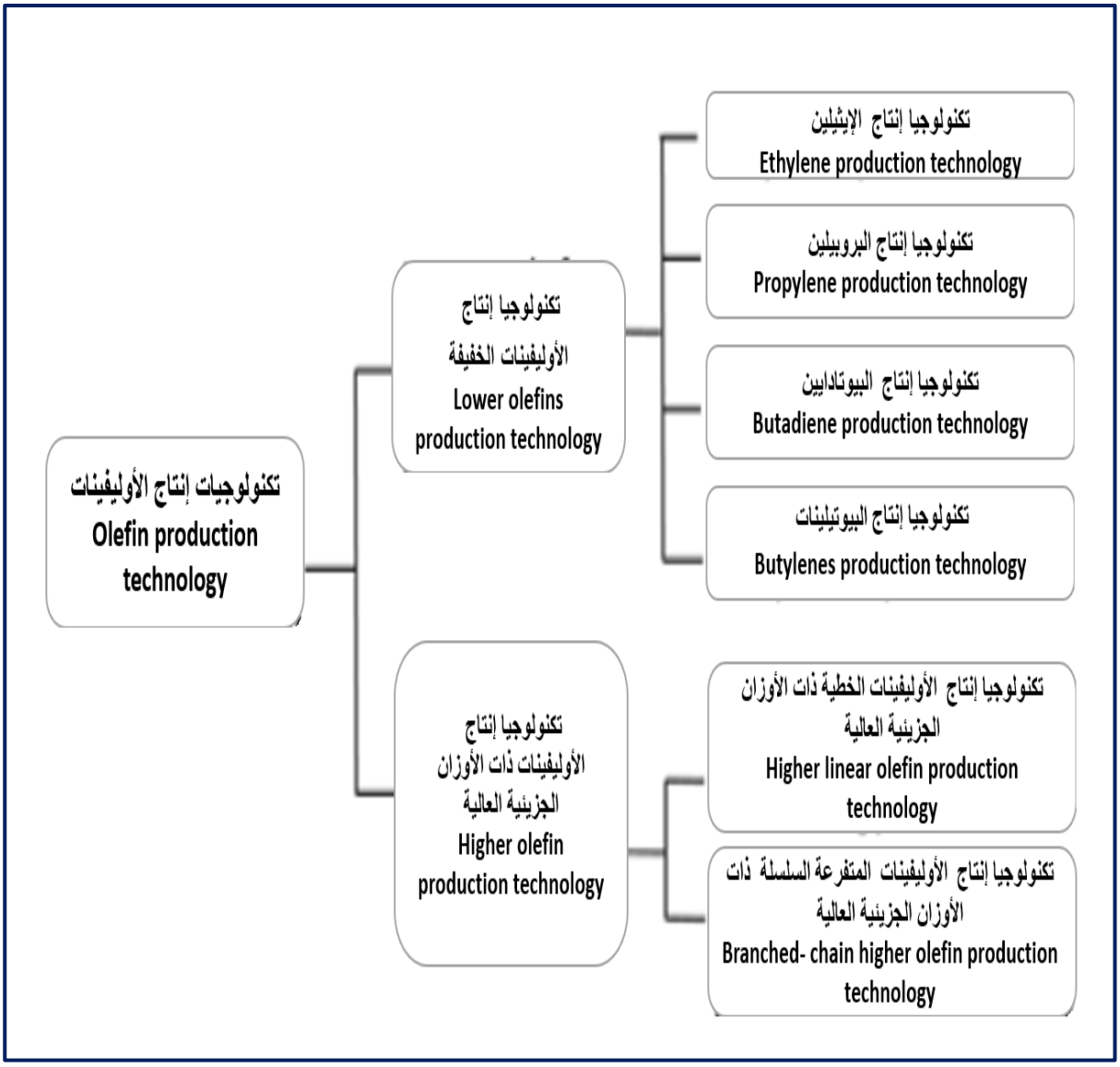
أصـبحت معظم تكنولوجيا إنتاج البوليمرات التي اسـتخدمت بالفعل أو تحققت في حقبة الأربعينيات من القرن العشـرين، ومنها تكنولوجيا إنتاج المونيومرات من الكيماويات المنتجة من تقطير الفحم، أو بالتخمر، من التكنولوجيات الأساسية الرئيسية لصناعة البتروكيماويات. بينما انتجت بشكل رئيسي صناعة البتروكيماويات خلال أول عقدين من نشأتها في الولايات المتحدة الأمريكية كل من المذيبات، والإضـافات البترولية، ومضـادات التجمد. شـكل إنتاج المطاط الصـناعي في الولايات المتحدة في فترة الأربعينيات دفعه جيدة لصـناعة البوليمرات. ومع بدء إنتاج البوليمرات التي تستهلك كميات ضخمة من البتروكيماويات الأساسية، وكميات كبيرة من الكيماويات العضوية الصناعية، تحولت صناعة البتروكيماويات الأولية إلى مصدر رئيسـي لتوريد المواد الخام الأولية لإنتاج البتروكيماويات الوسـيطة والنهائية. وبدأ تطور صـناعة البتروكيماويات في الولايات المتحدة بشـكل كبير منذ ذلك الحين وحتى الآن، وأصبحت صناعة واسعة النطاق حول العالم.

دخلت أوروبا عصـر إنتاج البتروكيماويات بعد اكتشـاف تكنولوجيا إنتاج الأوليفينات بالعوامل الحفازة " زيغلر- ناتا" Ziegler-Natta، في الخمسـينيات من القرن الماضـي، وأصـبحت أول تكنولوجيا لإنتاج البوليمرات في صـناعة البتروكيماويات، وأحدثت لاحقاً طفرات كبيرة في الصناعة [11].

1.4.2.3. تطور تكنولوجيا إنتاج الأوليفينات

تنقسم تكنولوجيا إنتاج الأوليفينات إلى تكنولوجيا إنتاج الأوليفينات الخفيفة "الإيثيلين، والبروبيلين، والبيوتادايين، والبيوتيلينات"، وتكنولوجيا إنتاج الأوليفينات عالية الأوزان الجزيئية "الأوليفينات الخطية، والأوليفينات الخطية عالية الأوزان متشعبة السلاسل الهيدروكربونية"، كما يبين الشكل (18).

الشكل (18): تكنولوجيا إنتاج الأوليفينات



المصدر: Survey Reports on the Systemization of Technologies ,2016

1.1.4.2.3. تطور تكنولوجيا إنتاج الإيثيلين

أنتج الإيثيلين قبل نشأة صناعة البتروكيماويات، كمنتج ثانوي من غاز الفحم في درجات حرارة منخفضة، وكانت هذه الطريقة شائعة في ألمانيا. كما تم إنتاجه ايضاً كمنتج ثانوي أثناء تصنيع الأسيتيلين من الغاز الطبيعي بكميات منخفضة باستخدام عملية القوس الكهربي

"Electric ARC". كما أُنتج بتكنولوجيا تخمر الإيثانول، وكانت هذه التكنولوجيات ضرورية لإنتاج البولي إيثيلين في مرحلة ما قبل ظهور صناعة البتروكيماويات. بينما تم إنتاج الإيثيلين عن طريق الهدرجة الجزئية للأسيتيلين في ألمانيا أثناء الحرب العالمية الثانية، وكان اكتشاف وتطوير المحفزات سبب نجاح إنتاج الإيثيلين بهذه الطريقة.

كانت تكنولوجيا إنتاج الإيثيلين هي أولى التكنولوجيات من بين مختلف تكنولوجيات إنتاج الأوليفينات الخفيفة التي تم تطويرها مع بداية عصر البتروكيماويات وبدء استخدام مشتقات البترول كمواد خام أولية، وذلك عندما بدأ إنتاجها بتكنولوجيا التكسير الحراري للزيت الثقيل. وتعتمد تكنولوجيا التكسير الحراري للزيت الثقيل، على تكسيره حرارياً لإنتاج غاز يحتوي على الإيثيلين، والأوليفينات الأخرى الخفيفة، ثم يتم تجميع غاز الإيثيلين، والبروبيلين. تعد تكنولوجيا تكسير الزيت الثقيل حرارياً عند درجات حرارة عالية وضغط مرتفع في عدم وجود محفز تكنولوجيا خاصة بصناعة تكرير البترول وتستخدم لإنتاج وقود الغازولين.

كانت عملية "بورتون" أول تقنية تكسير حراري للبترول، تم تطويرها وتطبيقها على النطاق الصناعي بواسطة شركة "ستاندرد أويل" (إنديانا) في عام 1913. يذكر أن أول طريقة للتكسير الحراري، هي عملية تكسير "شوخوف"، التي اخترعها "فلاديمير شوخوف" في عام 1891، وأدعى الروس أن عملية " بورتون" كانت في الأساس تعديلًا طفيفًا لعملية "شوخوف". في النهاية، ساهمت هذه العملية في تطوير البتروكيماويات. يبين الشكل (19) أول مصنع لعملية التكسير الحراري "شوخوف".

الشكل (19): أول مصنع لعملية التكسير الحراري "شوخوف"

ثم تم تطوير عملية "دوبس" في عام 1914، وتضمنت التكسير الحراري للزيت الثقيل في درجات حرارة 750-860°ف، واستخدمت على نطاق واسع في العديد من المصافي حتى أوائل الأربعينيات من القرن الماضي عندما بدأ استخدام التكسير الحفزي. تلي ذلك تطوير العديد من تقنيات التكسير الحراري للبترول خلال الفترة من 1910-1920. كانت هذه التكنولوجيات خاصة بعمليات التكرير وإنتاج الغازولين، وليست لإنتاج البتروكيماويات بشكل مباشر، لذا فقد تم تطوير تكنولوجيا "التكسير البخاري" كامتداد لتكنولوجيا التكسير الحراري للبترول، والتي أطلق عليها تكنولوجيا التكسير الحراري بالبخار، حيث تم إدخال البخار بهدف توجيه اتجاه توازن تفاعل التكسير الحراري نحو عملية التكسير، عن طريق تقليل تراكم الكربون على الجدار الداخلي لأنبوب التفاعل، وللتحكم في درجة الحرارة الناتجة عن التكسير الحراري من خلال حرارة البخار.

بدأ إنتاج الإيثلين بتكنولوجيا التكسير البخاري بواسطة شركة " يو أس كربيد، وشركة كربون كيميكال" في عام 1920. بينما قامت شركة " يو إس استاندرد" بإنتاج الإيثيلين بتقنية

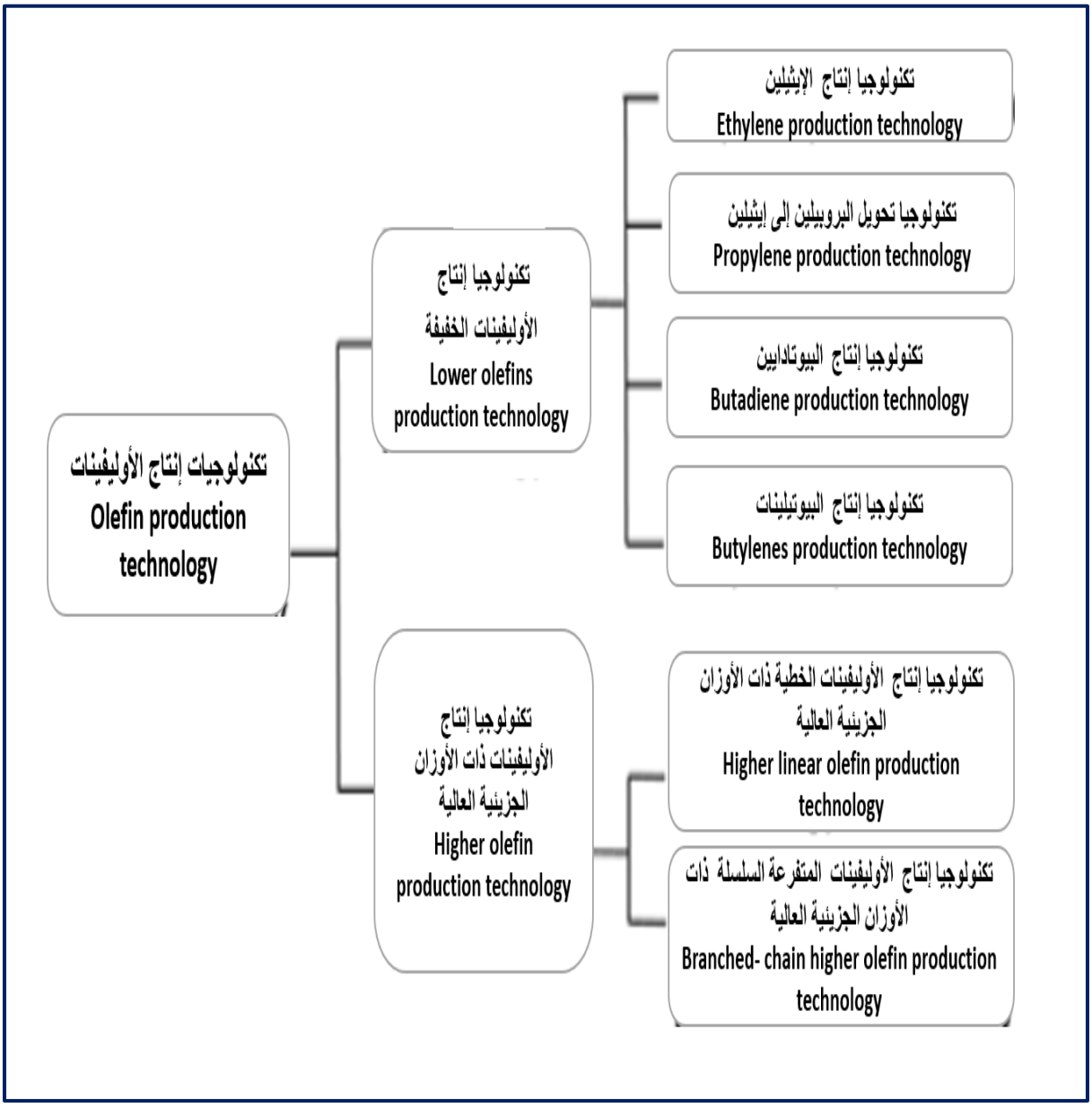
التكسير البخاري لغاز البروبان في منتصف العشرينات من القرن الماضي، بينما تم إنتاجه من النافثا في عام 1941.

تطورت التكنولوجيات المختلفة لإنتاج الإيثيلين بشكل متسارع خلال فترة الأربعينيات والستينيات من القرن الماضي. وتضمنت هذه التطورات، تطوير شركة "شل" لعملية "كاتارول" Catarole باستخدام محفز النحاس والحديد في عام 1947، وتطوير عملية تكسير السرير المتحرك "Moving Bed Cracking Process". وتطوير شركة " ليرجي" Lurgi لعملية التكسير بالرمال "Sand-Cracking Process" في عام 1955 والتي استخدمت فيها الرمال كوسيط. بينما تطورت كل من عملية "باسف" BASF، وعملية "هوكست" Hoechst في عام 1960 للإنتاج المشترك للأسيتيلين، بتقنية التكسير البخاري عالي الحرارة.

كما أنتج الإيثيلين بتكنولوجيا التكسير البخاري للنافثا، وكان البروبيلين ينتج بكميات كبيرة. لذلك، ابتكرت شركة " فيليبس بيتروليم" عملية ثلاثي أوليفين " Triolefin Process"، باستخدام محفزات النحاس لتحويل البروبيلين إلى إيثيلين، وبيوتين. وتم تشغيل أول مصنع يعمل بهذه التقنية في كندا خلال الفترة 1966-1972، ثم توقف العمل بهذه التقنية في أقل من 10 سنوات.

مرت عمليات التكسير بالبخار في فترة السبعينيات من القرن الماضي بعدد من التحسينات والتطويرات التكنولوجية لنوع الأنبوب الطارد للحرارة المستخدم مثل تقصير زمن الاستبقاء، أو ما يطلق عليه زمن الاحتفاظ، أو زمن المكوث "Retention Time" في الأنبوب من 0.7 - 1.5 ثانية إلى 0.2 - 0.4 ثانية، وكان هذا بسبب اكتشاف الآلية الكامنة وراء التصاق فحم الكوك بجدار الأنبوب، ونتج عن ذلك زيادة في إنتاج الإيثيلين. كما تم تغيير وضع تركيب الأنبوب من الوضع الأفقي إلى الوضع الرأسي، بالإضافة إلى رفع كفاءة التبريد بإدخال المبادلات الحرارية "TLE "، والمساهمة في خفض استخدام الطاقة بإدخال ضواغط طرد مركزية يبين الشكل (20) تكنولوجيات إنتاج الإيثيلين.

الشكل (20): تكنولوجيات إنتاج الإيثيلين

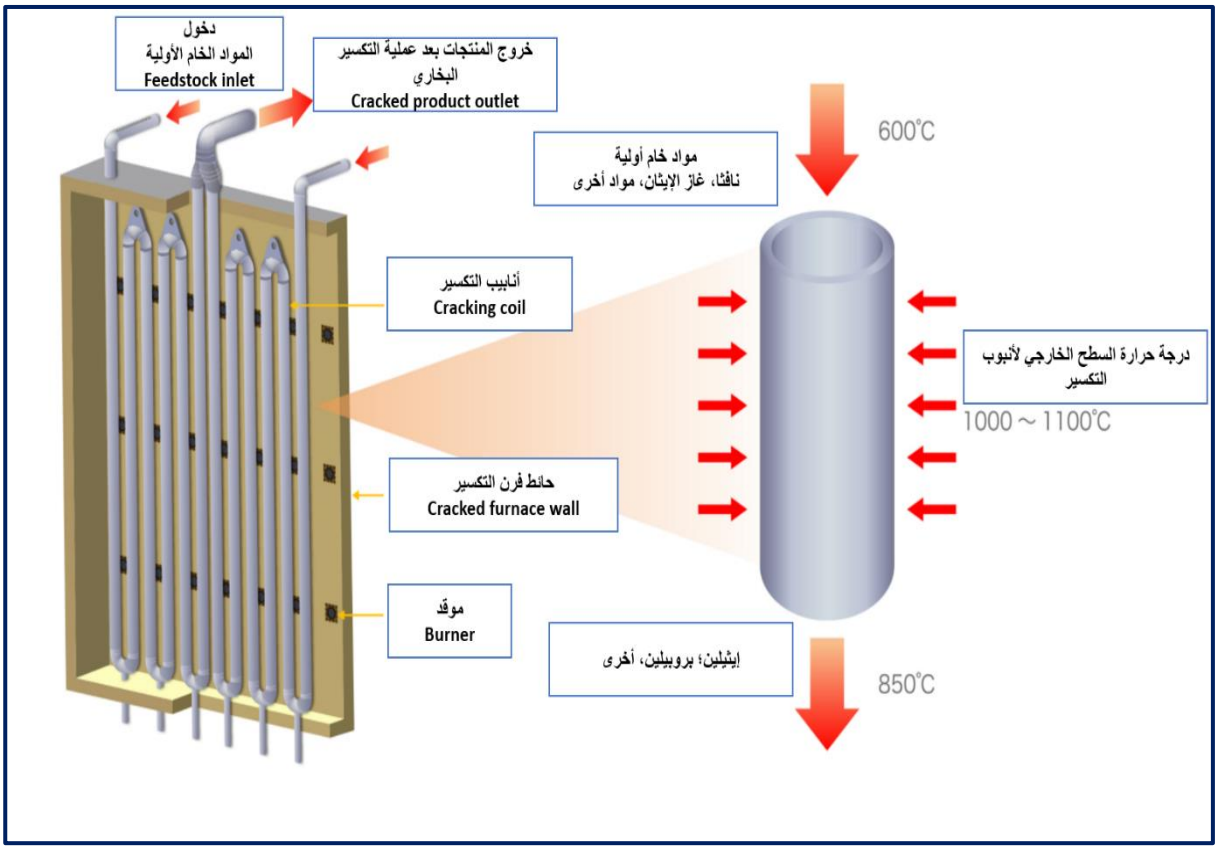


المصدر: National Museum of Nature and Science: Survey Reports on the Systemization of Technologies ,2016

اعتمد تطوير التكنولوجيات الجديدة لعمليات التكسير بالبخار على استخدام سخان الانحلال الحراري "Pyrolysis Heater "، الذي يتميز بمرونة استخدام أنواع مختلفة من المواد الأولية الخام الأكثر اقتصادية بدءاً من الغاز حتى زيت الغاز "Gas oil" بكفاءة تحت ظروف من الضغوط المنخفضة، وخفض لزمن الاستبقاء، بهدف زيادة الطاقات الإنتاجية للأوليفينات، وزيادة هوامش الربح. كما سمحت التصميمات الحديثة لسخانات الانحلال الحراري بتركيبها

وإضافتها لتوسعات المشاريع الجديدة ذات المساحات المحدودة من الأراضي. تصل الطاقة الإنتاجية للوحدة الواحدة إلى حوالي 300 ألف طن سنوياً. يبين الشكل (21) مخطط التصميمات الحديثة لأنابيب التكسير بالبخار.

الشكل (21): مخطط التصميمات الحديثة لأنابيب التكسير بالبخار



المصدر: https://www.kubota.com/products/materials/products/cracking_coil/index.html

من جانب آخر يعد نظام استرداد الأوليفينات "Olefins Recovery System" الجديد تعديلاً جوهرياً لتكنولوجيا إنتاج الأوليفينات التقليدية، وهي تكنولوجيا موفرة للطاقة. تسهم كذلك في خفض التكلفة الاستثمارية لمشروعات إنتاج الأوليفينات حيث تتميز بخفض عدد الضواغط المستخدمة بنسبة 40%، والتخلص من حوالي 25 % من المعدات المستخدمة. كما يتميز عمليات التبريد بأنها تتم في ضغط منخفض تصل قيمته إلى نصف قيمة الضغط المستخدم في التكنولوجيا التقليدية.

كما وفر نظام التبريد الجديد درجات حرارة تتراوح ما بين 40 °م إلى 140 °م تحت الصفر في نظام تبريد واحد بدلاً من ثلاثة أنظمة. يقلل كذلك خفض عدد المعدات والأجهزة من تكاليف الصيانة الدورية، ويحسن الموثوقية. [49]. يبين الشكل (22) مقطع داخلي لفرن التكسير الحراري بالبخار. ويبين الشكل (23) منطقة أفران التكسير البخاري للإيثان في أحد المصانع الحديثة.

الشكل (22): مقطع داخلي لفرن التكسير الحراري بالبخار

المصدر: https://www.mcdermott.com/

الشكل (23): منطقة أفران التكسير البخاري للإيثان في أحد المصانع الحديثة

المصدر: http://www.ugr.es/~.pdf

تعد كل من شركة " كى بي أر"، وشركة " تكنيب" Technip، وشركة " ليندي" Linde، وشركة "شاو" Shaw، وشركة " ستون، وبستر" Stone & Webster، وشركة "لامس" Lummus، من أهم مرخصي تكنولوجيا إنتاج الإيثلين على مستوى العالم [50]. هذا وتستخدم في الوقت الحالي تكنولوجيا " ستون وبستر" Stone & Webster، وتكنولوجيا "لامس" Lummus على نطاق واسع، وتبلغ بنسبة استخدامها لإنتاج الإيثيلين حوالي 40 % من إجمالي طاقة إنتاج الإيثيلين في أكثر من 200 مصنع على مستوى العالم.

2.1.4.2.3 تطور تكنولوجيا إنتاج البروبيلين

أنتج البروبيلين من الغازات الناتجة من التكسير الحراري للزيت الثقيل بنفس طريقة إنتاج الإيثيلين. طور العالم الفرنسي " هودري" Houdry عملية التكسير الحراري بالسرير الثابت Fixed-Bed Cracking في عام 1927 باستخدام محفز السيليكا والألومينا وصنَّعته شركة "صن أويل" Sun Oil الأمريكية في عام 1938. كما طورت شركة "كيلوج" Kellogge عملية التكسير الحفزي باستخدام محفز السرير المميع Fluidized Bed Catalyst في عام 1938. ثم قامت شركة "استاندرد أويل" من خلال دراسات مشتركة مع شركة "كيلوج" في عام 1940 بتطور التكسير الحفزي المميع (FCC-Fluidized Catalytic Cracking) في عام 1942. ثم طورت شركة " سكندري فكيوم "عملية "هودري" وأصبحت عملية التكسير الحراري الحفزي بالسرير المتحرك بدلاً من السرير الثابت في عام 1943.

أُنتج غاز العادم "Waste Gas" بكميات أكبر عن طريق التكسير الحفزي للزيت الثقيل، مقارنة بالتكسير الحراري، ويحتوي هذا الغاز على كميات منخفضة من الإيثيلين وكميات أكبر من البروبيلين، والبيوتيلين، لذا فقد أصبح مصدر إمداد واسع النطاق لإنتاج البروبيلين. بينما تبلغ كميات البروبيلين المنتجة بتكنولوجيا التكسير البخاري للنافثا إلى نصف كميات الإيثيلين المنتجة، واستخدمت هذه الطريقة كمصدر رئيسي لإنتاج البروبيلين، خاصة في آسيا، وأوروبا، واليابان.

زاد الطلب على البروبيلين بشكل مطرد منذ ثمانينيات القرن الماضي، بسبب نمو الطلب في الأسواق العالمية، وكانت نسب استهلاك البروبيلين لإنتاج البولي بروبيلين نحو 15 % فقط في عام 1970، لترتفع إلى أكثر من 60 % في عام 2020 [33].

أصـــبح هناك نقص كبير في إمدادات كميات البروبيلين في الأســـواق العالمية منذ فترة التسـعينيات، وخاصـة مع توسـع دول منطقة الشـرق الأوسـط في إنتاج الإيثيلين ومشـتقاته من غاز الإيثان، واعتماد دول أوروبا على النافثا كمادة خام أولية لإنتاج البتروكيماويات، مما أدى إلى انخفاض إنتاج البروبيلين الناتج من عمليات التكســير بالبخار للنافثا، أومن عملية التكسير التحفيزي المائع". وارتفع سعر البروبيلين تدريجياً ليكافئ سعر الإيثيلين بحلول عام 2010، بعد أن كان سـعره حوالي نصـف سـعر الإيثيلين. نتيجة لذلك أصـبح هناك اتجاهات أخرى مساعدة لتكنولوجيا البتروكيماويات، لسد النقص في كميات البروبيلين المطلوبة.

فبينما ينتج التكسير بالبخار للغاز الطبيعي حوالي 82 % من الإيثيلين، ونحو 13 % من البروبيلين، ينتج التكسير بالبخار لمنتج النافثا حوالي 30 % من الإيثيلين، و15 % من البروبيلين. ومع عدم القدرة على تلبية الطلب المتنامي على البروبيلين، تم الاعتماد على بعض التكنولوجيات المساعدة وهي تكنولوجيا تحويل الفحم إلى أوليفينات (CTO)، وتحويل الميثانول إلى أوليفينات (MTO)، بالإضافة إلى استخدام تكنولوجيا محددة الأغراض لإنتاج البروبيلين، وهي تكنولوجيا نزع الهيدروجين من البروبان (PDH)، وهي والتي تعتمد على سحب ذرات الهيدروجين من البروبان، أجل استخلاص البروبيلين بشكل أكثر فاعلية.

3.1.4.2.3 تطور تكنولوجيا إنتاج البيوتادايين

ينتج البيوتادايين حالياً بشكل أساسي كمنتج ثانوي من إنتاج الإيثيلين بطريقة التكسير بالبخار للنافثا، ولا يتم إنتاجه من عمليات التكسير بالبخار لغاز الإيثان أو البروبان.

كان إنتاج المطاط الصناعي أمر مهم للغاية للدول الغربية خلال الحرب العالمية الثانية، لذا فقد نال إنتاج البيوتاداين أهمية كبرى في ذلك الوقت. ونظرًا لأنه لم يتم استخدام التكسير البخاري للنافثا على نطاق واسع في أوروبا واليابان إلا بعد الحرب العالمية الثانية، فقد تم إنتاج البيوتاداين خلال الحرب في هذه الدول بواسطة تقنيات كيمياء الفحم وكيمياء التخمير. حيث كانت تعتمد الطريقة الأولى على تكثيف الأسيتالديهيد الناتج من الأسيتيلين، أو الإيثانول الحيوي، ثم هدرجته لإنتاج منتج 3,1- بيوتان داي أول، ثم يجفف بعد ذلك لإنتاج البيوتاداين.

أما الطريقة الأخرى فكانت تفاعل الأسيتيلين لإنتاج ثنائي الوحدات أو الديمر "Dimer" تحت الضغط الجوي، لتكوين أحادي فينيل الأسيتيلين، ثم يتم هدرجته لإنتاج البيوتاداين. أما الطريقة الثالثة فهي تفاعل الأسيتيلين مع الفورمالدهيد لإنتاج البيوتاداين. بينما اعتمدت الطريقة الرابعة على أكسدة الإيثانول الحيوي ليتحول إلى أسيتالدهيد. تم تطوير هذه الطريقة في عام 1928، في الأتحاد السوفيتي خلال الحرب العالمية الثانية، وتم أيضاً تطبيقها في الولايات المتحدة.

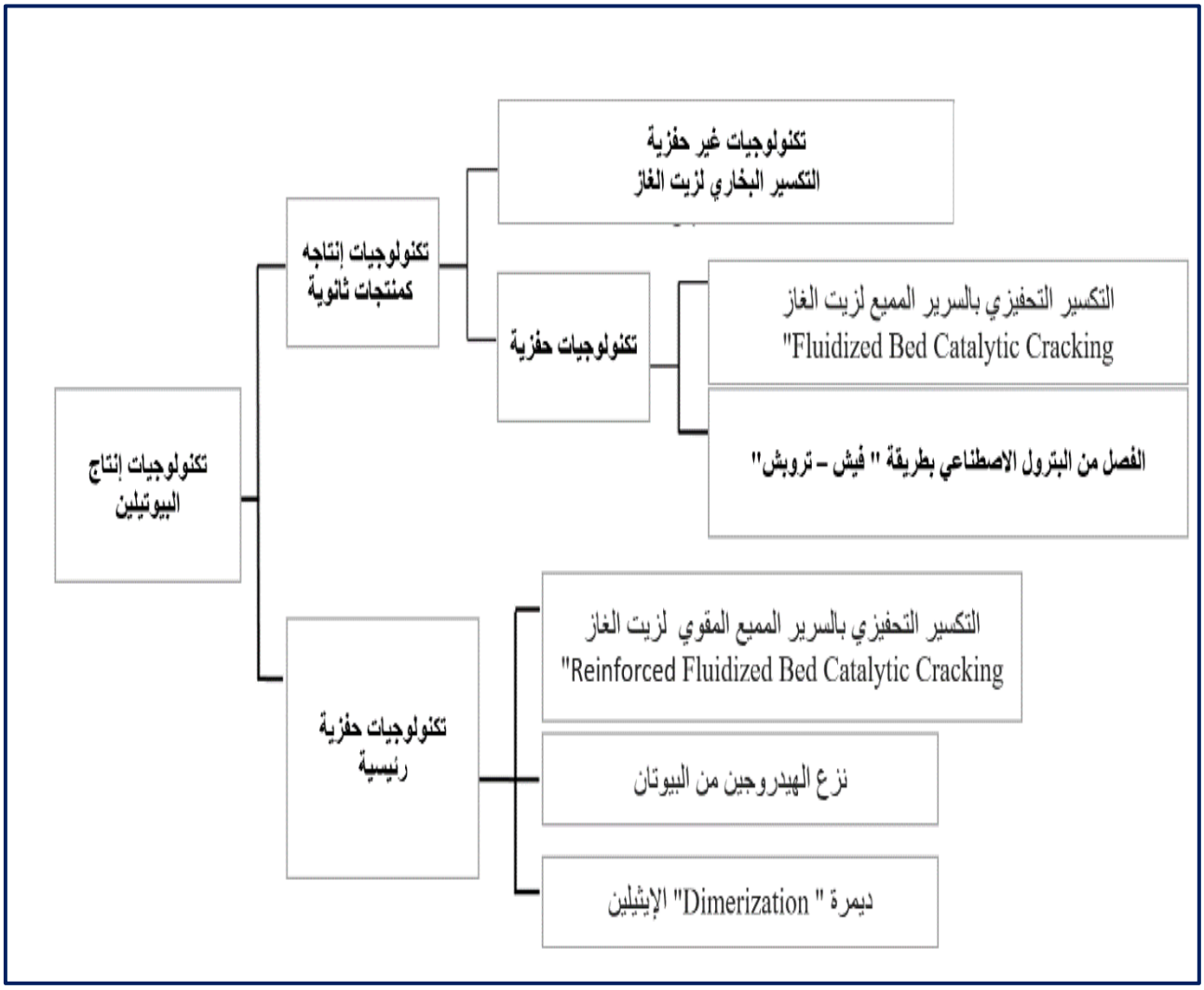
4.1.4.2.3 تطور تكنولوجيا إنتاج البيوتيلين "Butylenes"

لم تنتج البيوتيلينات إلا بعد نشأة صناعة البتروكيماويات، حيث أنتجت كمنتج ثانوي من التكسير بالبخار للنافثا، أو الغاز العادم الناتج عن التكسير الحفزي للبترول. وأنتجت أيضاً كمنتج ثانوي من إنتاج البروبيلين بطريقة "التكسير التحفيزي بالسرير المميع المقوى" Reinforced Fluidized Bed Catalytic Cracking.

زاد الطلب على منتج "الميثيل ثلاثي البيوتيل إيثر" بسرعة في الولايات المتحدة الامريكية في فترة التسعينيات من القرن الماضي بسبب استخدامه كمادة مضافة لتحسين الغازولين. لذا فقد زاد الطلب على "الأيزوبيوتيلين" المستخدم في إنتاجه. ولم تكن كميات الأيزوبيوتيلين الناتجة كمنتجات ثانوية من تقنيات التكسير بالبخار للنافثا، أو تقنيات التكسير الحفزي للبترول

كافية لتلبية الطلب المتزايد، لذا فقد تم إنتاجه بكميات كبيرة عن طريق نزع الهيدروجين من الأيزوبيوتان. ومع حظر إضافة الميثيل ثلاثي البيوتيل إيثر إلى الغازولين منذ العقد الأول من القرن الحادي والعشرين انخفضت كميات بهذه الطريقة. من جانب آخر تنتج حالياً شركة "ساسول" في جنوب أفريقيا أنواع معينة من البيوتيلينات عن طريق فصله من البترول الاصطناعي "Synthetic Petroleum"، حيث تنتج 1- بيوتيلين بطريقة " فيشر - تروبش"، وتستخدمه ككوبليمر "Copolymer" في إنتاج البولي إيثيلين الخطي منخفض الكثافة. بينما تنتج المملكة العربية السعودية البيوتيلين بطريقة ديمرة "Dimerization" الإيثيلين، وتستخدمه كذلك في إنتاج البولي إيثيلين الخطي منخفض الكثافة. يبين الشكل (24) تكنولوجيا إنتاج البيوتيلين.

الشكل (24): تكنولوجيا إنتاج البيوتيلين



المصدر: Systematic Survey on Petrochemical Technology

5.1.4.2.3 تكنولوجيا إنتاج الأوليفينات الخطية العليا Higher Linear Olefin

بدأ إنتاج الأوليفينات الخطية، قبل نشأة صناعة البتروكيماويات، عن طريق نزع المياه من الكحولات الدهنية، والتي كانت تنتج بطرق أسترة الدهون والزيوت باستخدام الميثانول "Methyl Esterification". ثم أصبح من الممكن إنتاج الأوليفينات بكميات كبيرة بعد النجاح في إنتاج حمض السلفونيك من "الدوديسين" بواسطة رباعي البروبيلين. إلا أن "الدوديسين" المنتج في تلك الفترة " مركب متفرع" Branched، مما أدى إلى حدوث مشاكل بيئية، تمثلت في تلوث الأنهار بالرغوة، وذلك نظراً لبطء التحلل البيولوجي للمركبات المتفرعة. طالبت الاعتبارات البيئية في ذلك الوقت باستبدال الكحولات الدهنية المتفرعة والمستخدمة على نطاق واسع في إنتاج المنظفات بالكحولات الدهنية الخطية.

تم تطوير عدد من تكنولوجيا البتروكيماويات لإنتاج الأوليفينات الخطية بطريقة الامتزاز باستخدام الزيوليت كعامل حفاز لفصل البارافينات العادية من الكيروسين، تليها عملية التكسير البخاري للبارافينات لإنتاج خليط من الأوليفينات الخطية. كما يمكن إنتاج الأوليفينات الخطية من الزيوت الاصطناعية بطريقة فيشر – تروبش.

أكتشف كيميائيو شركة "شل" طريقة كيميائية جديدة في عام 1968 أطلق عليها عملية شوب "SHOP" لإنتاج مركبات الألفا-أوليفينات الخطية، يتم فيها تفاعل الإيثيلين بواسطة العامل الحفاز ليعطي سلاسل أطول، حتى يتوقف التفاعل بعد إضافة عدد يتراوح ما بين "1-10" وحدة من وحدات الإيثيلين. يتم بعد ذلك تحويل الأوليفينات الخطية المنتجة إلى الديهيدات دهنية ثم تحول إلى كحولات دهنية تستخدم في إنتاج المنظفات الاصطناعية التي تتميز بسهولة التحلل الحيوي. كما تم إنتاج الأوليفينات الخطية عن طريق التكسير البخاري للشموع في عام. تم تسويق التكنولوجيا على النطاق التجاري في عام 1977 بواسطة شركة "شل الملكية الهولندية".

تستخدم الأوليفينات الخطية أيضاً في إنتاج سوائل الحفر، وإنتاج الملدنات "Plasticizers"، بالإضافة إلى المنظفات القابلة للتحلل [52]. هناك 5 تكنولوجيات رئيسية على المستوى التجاري لإنتاج الأوليفينات الخطية، وهي تكنولوجيا شركة "إينيوس"Ineos، وشركة " شيفرون فيليبس كيميكال كومباني" Chevron Phillips Chemical Company، وشركة "شل"، وشركة " ادميتسو" Idemitsu، وتكنولوجيا ألفا سابلين - α SABLIN، التابعة لشركة "سابك- ليندي" والتي تعد الأحدث في الأسواق العالمية.

تعتمد تكنولوجيا "ألفا سابلين" الحديثة على استخدام الإيثيلين كمادة خام أولية لإنتاج مجموعة متنوعة من منتجات الألفا أوليفينات الخطية في مرحلة واحدة. تم تسويق التكنولوجيا الجديدة في عام 2009 بواسطة شركة سابك السعودية، واستخدامها في مصنعها الكائن بمنطقة الجبيل بطاقة 150 ألف طن سنوياً [53].

3.3. التكنولوجيات ذات الصلة الداعمة لصناعة البتروكيماويات

ساهمت أربع تكنولوجيات أخرى ذات صلة، وداعمة في حدوث تطورات ملموسة في صناعة البتروكيماويات، وكانت ضرورية بشكل كبير، حيث ساهمت في وصولها إلى العالمية، وشملت كل من: تكنولوجيا الهندسة الكيميائية " Chemical Engineering Technology"، وتكنولوجيا الأجهزة والتحكم " Instrumentation and Control Technology"، وتكنولوجيا التحاليل بالأجهزة "Instrumental Analysis Technology"، وتكنولوجيا نمذجة البوليمرات " Polymer Modeling Technology"، كما يبين الشكل (25).

الشكل (25): التكنولوجيات ذات الصلة الداعمة لصناعة البتروكيماويات

المصدر: Systematic Survey on Petrochemical Technology

1.3.3. تكنولوجيا الهندسة الكيميائية "Chemical Engineering Technology"

تم تطوير تكنولوجيا الهندسة الكيميائية من قبل صناعة تكرير النفط الأمريكية في عام 1910، وتم العمل بها في البداية كنظام أكاديمي يركز على العمليات الفيزيائية المستخدمة في صناعة تكرير النفط والصناعات الكيميائية، مثل عمليات التدفق (نقل السوائل، والترشيح)، والتوصيل الحراري ونقل الكتلة (امتصاص الغاز، والتقطير، والاستخراج، والتجفيف، والامتزاز).

حدثت فيما بعد تطورات أخرى في هندسة العمليات، التي تدرس عمليات تكرير النفط والعمليات الكيميائية بشكل عام، وهندسة التفاعل، التي تركز على جزء التفاعل الأساسي من العملية الصناعية. ثم أصبحت لاحقاً الهندسة الكيميائية ركن أساسي ليس فقط من حيث التصميم، والمشتريات، وإدارة بناء وتشغيل وحدات ومنشآت البتروكيماويات بمفردها، ولكن

أيضًا لتخطيط وتصميم المصانع الكاملة، والمجمعات الصناعية الشاملة. يبين الشكل (26) أول مختبر لاختبار المواد في صناعة الكيماويات عام 1912 التابع لشركة "باسف"، وأصبح هذا المختبر بداية هندسة المواد في الوقت الراهن.

الشكل (26): أول مختبر لاختبار المواد في صناعة الكيماويات عام 1912 التابع لشركة باسف

المصدر: BASF History, 1865 – 2015

2.3.3. تكنولوجيا الأجهزة والتحكم "Instrumentation and Control Technology"

تعد تكنولوجيا الأجهزة والتحكم الآلي من التكنولوجيات الداعمة لصناعة البتروكيماويات، وهي طرق لتشغيل المصانع ألياً وتشمل طرق القياسات باستخدام أجهزة القياس المختلفة، والتحكم الآلي، واستخدام الصمامات الألية. تحتوي هذه المصانع على غرف تحكم مركزية للمراقبة والتحكم، وأطلق على هذه الطريقة في التشغيل، اسم "أتمتة

العمليات" Automated Production Processes، وكانت صناعة البتروكيماويات وصناعة تكرير النفط أول من طبق عمليات الإنتاج المؤتمتة.

3.3.3. تكنولوجيا التحليل بالأجهزة "Instrumental analysis"

تشمل في الغالب تكنولوجيا التحليل بالأجهزة في صناعة البتروكيماويات استخدام أجهزة كروماتوغرافيا الغاز، والأشعة الطيفية تحت الحمراء. تم إدخال أول كروماتوجرافيا غاز في العالم عام 1955، ويتم التحليل بطريقة كروماتوغرافيا الغاز عن طريق فصل المكونات الغازية والمكونات السائلة التي تتبخر بسهولة. أما في طريقة التحليل الطيفي باستخدام الأشعة تحت الحمراء، يتم تحليل المركبات العضوية حسب المجموعة الوظيفية، وكانت أجهزة التحليل المستخدمة في عام 1957 باهظة الثمن، وسرعان ما انخفضت بشكل واضح، وأصبحت تستخدم على نطاق واسع في صناعة البتروكيماويات، ليس فقط من أجل البحث والتطوير ومراقبة الجودة، ولكن أيضًا لإدارة العمليات.

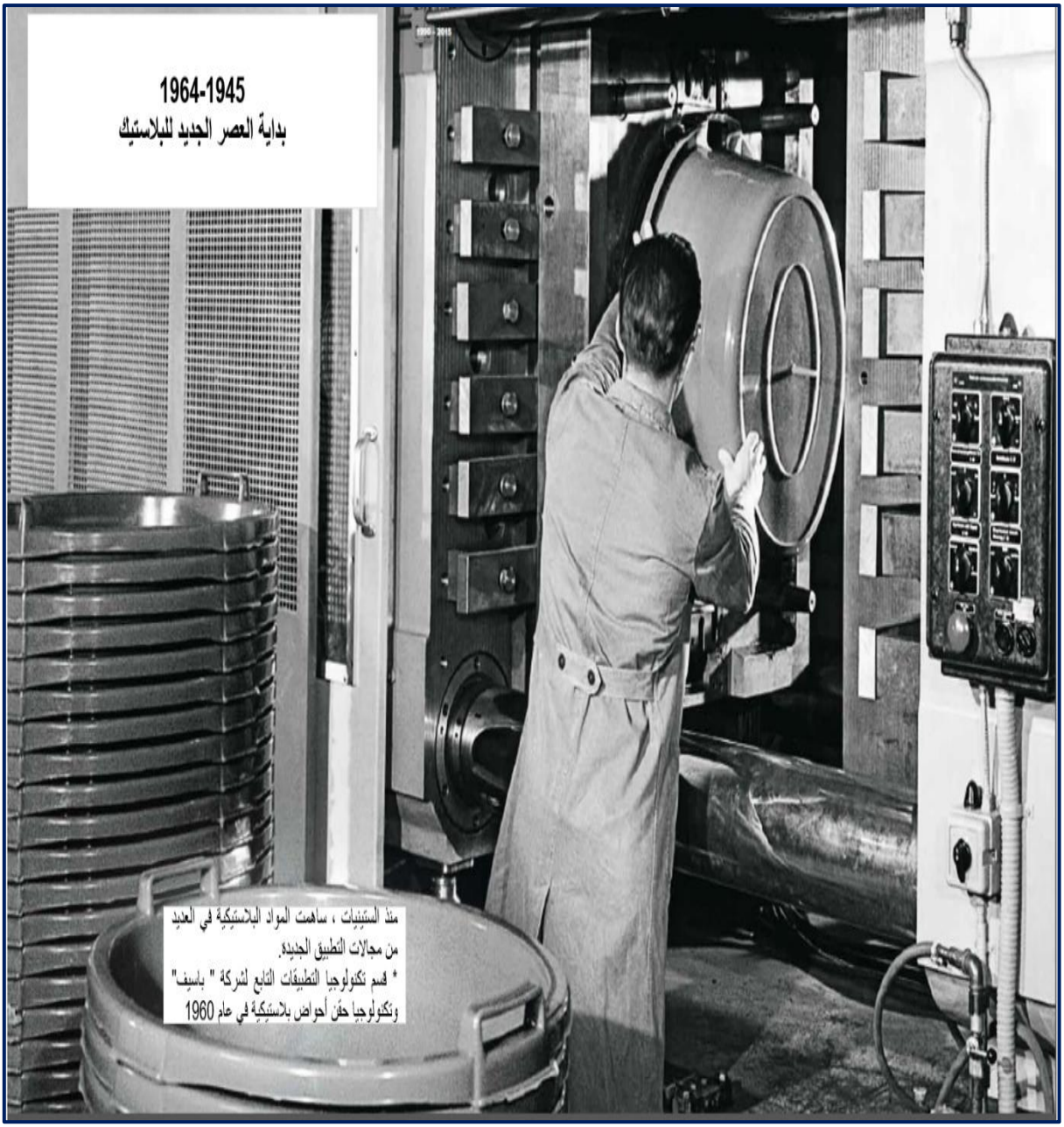
4.3.3. تكنولوجيا قولبة أو نمذجة البوليمرات "Polymer Molding Technology"

تم تطوير تقنية صب المطاط الطبيعي كتقنية لنمذجة أو قولبة البوليمرات منذ منتصف القرن التاسع عشر، وتم اكتشاف تقنيات تقسية المطاط بالكبريت في عام 1839. قام "توماس هانكوك" في عام 1849 بتطوير آلات معالجة المطاط، وتقنيات تقسية المطاط بالكبريت في المملكة المتحدة، وأصبحت تكنولوجيا صب المطاط صناعة واسعة النطاق قبل الحرب العالمية الثانية.

بدأ إنتاج بوليميرات البولي فينيل كلوريد، والبولي ستيرين، والبولي إيثيلين، والبوليمرات الأخرى على النطاق التجاري في أوروبا في فترة الثلاثينيات من القرن الماضي. وبحلول عام 1939 تم تصنيع الأنابيب البلاستيكية الصلبة من مادة البولي فينيل كلوريد. شملت التقنيات

ذات الإنتاجية العالية لتشكيل البوليمرات الحرارية كل من: القولبة بالبثق، والتشكيل بالنفخ أو التشكيل بالحقن. هذا وقد تم تطوير تقنيات التشكيل بالحقن في أوروبا قبل الحرب العالمية الثانية، واستخدمت لعدد محدود جداً من المنتجات وبطرق تشكيل ذات سرعات بطيئة جداً. يبين الشكل (27) بداية عصر إنتاج البلاستيك بطرق الحقن في فترة الستينيات من القرن الماضي.

الشكل (27): بداية عصر إنتاج البلاستيك بطرق الحقن في فترة الستينيات من القرن الماضي

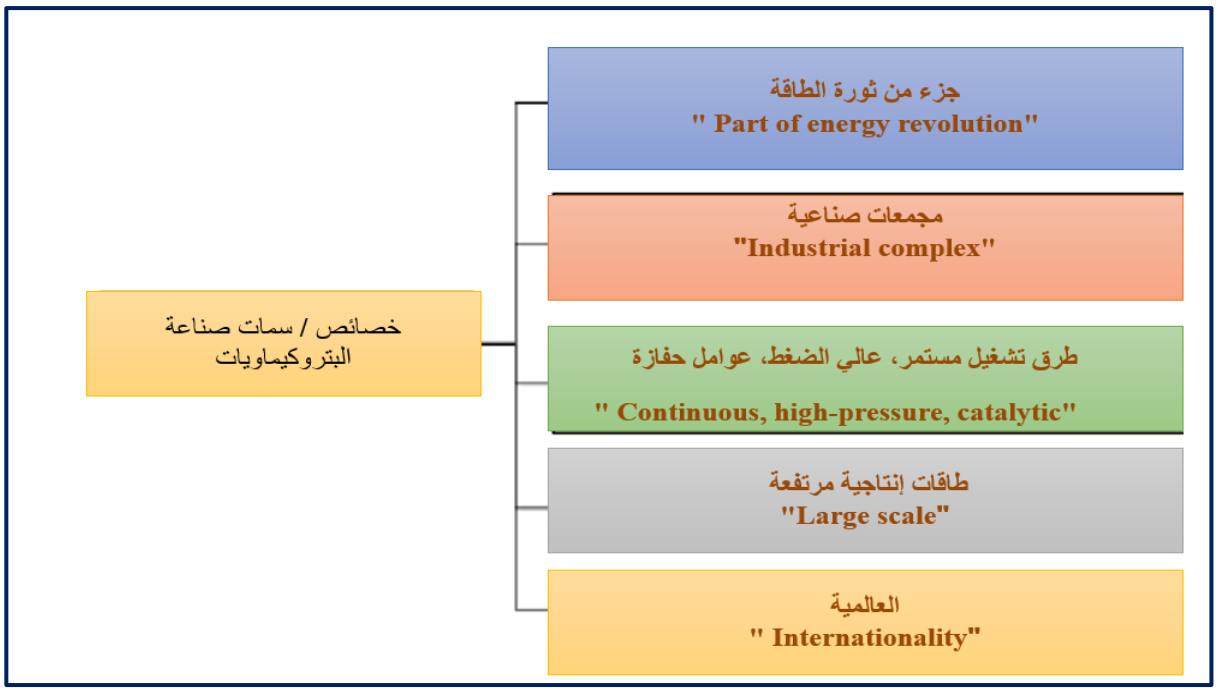


المصدر: BASF History, 1865 – 201

4.3. خصائص صناعة البتروكيماويات

تكشف المقارنة بين إنتاج الكيماويات في فترات ما قبل صناعة البتروكيماويات، وانتاجها في الوقت الحالي عن أهم خمس خصائص رئيسية تميزت بها تكنولوجيا البتروكيماويات الحديثة، وشملت: اعتبار البتروكيماويات جزء من ثورة الطاقة، وتميز مشروعاتها الحديثة بكونها مجمعات صناعية متكاملة، واعتماد العمليات الصناعية فيها على طرق التشغيل المستمر، تحت ضغط عالي، وباستخدام العوامل الحفازة، بالإضافة إلى تميز مشروعات البتروكيماويات بأنها ذات طاقات إنتاجية مرتفعة، وتميزها بالعالمية كما يبين الشكل (28).

الشكل (28): خصائص تكنولوجيا صناعة البتروكيماويات



المصدر: Systematic Survey on Petrochemical Technology

1.4.3. جزء من ثورة الطاقة "Part of Energy Revolution"

بدأ توريد النفط في حقبة الخمسينيات من القرن الماضي من دول الشرق الأوسط إلى دول أوروبا، واليابان بكميات كبيرة، وتحول البترول إلى المصدر الرئيسي للطاقة بدلاً من

الفحم، وعرفت هذه الحقبة باســم ثورة الطاقة. بدأت الصــناعات الكيميائية في التحول إلى اســتخدام بعض مشــتقات النفط كمواد تغذية أولية بدلاً من الفحم، والمنتجات الزراعية، وكان هذا بمثابة مشاركة صناعة البتروكيماويات كجزء من ثورة الطاقة [11].

2.4.3. مجمعات صناعية "Industrial Complex"

من الســمات الهامة في صــناعة البتروكيماويات ليس فقط اســتخدام بعض المشــتقات البترولية كمواد تغذية أولية، ولكن أيضــا اســتخدامها في الغالب في شــكل ســوائل خلال من مراحل الإنتاج المختلفة. كما توجد بعض البتروكيماويات الأساسية وعدد من المواد الكيميائية العضوية الصناعية على شكل غاز، أو سائل في درجات الحرارة العادية. لذا غالباً ما يتم نقل كل هذه المواد عن طريق المضــخات والأنابيب داخل المصــانع، وغالبًا ما يتم تخزينها في صهاريج.

من جانب آخر تكون بعض منتجات البتروكيماويات على شكل منتجات صلبة، كحبيبات "Pellets"، أو مســاحيق "Powders"، وبعضــها يكون على هيئة ســوائل مثل المذيبات، والمستحلبات. لذا يتم دمج مصــانع البتروكيماويات والتكرير في مجمعات صــناعية لتســهيل عمليات نقل وتداول المواد المختلفة على نطاق واســع، ولمســافات طويلة بين المصــانع، وبالتالي تتحقق الأستفادة المثلى من تكامل الطاقة، والمرافق المستخدمة بين المصانع المختلفة المكونة للمجمعات الصناعية.

ينتج عدد من المنتجات البتروكيماوية الأساسية بين صناعتي التكرير والبتروكيماويات بشــكل مشــترك "Coproducts"، لتســتخدم هذه المنتجات كمواد خام أولية لإنتاج المواد الكيميائية العضــوية، والبوليمرات المختلفة. لذا فإن مصــانع الإنتاج تكون متقاربة ومترابطة بشبكة داخلية من الأنابيب لنقل المواد الخام الأولية، أو المنتجات وبالتالي يتم تشكيل مجمعات

صـــناعية. يبين الشـــكل (29) نموذج تكامل صـــناعات التكرير والبتروكيماويات في اليابان وتايلاند.

الشكل (29): نموذج تكامل صناعات التكرير والبتروكيماويات في اليابان وتايلاند

المصدر: Innovations in Petroleum Refining Industry and Role of Japanese Refining Technology,2015

3.4.3. عمليات تشغيل مستمر، وضغط عالي، وعوامل حفازة

" Continuous, High-Pressure, Catalytic Processes"

تتم مجموعة من العمليات الصناعية تحت ضغط عالي لإنتاج البتروكيماويات، ويعتمد تخطيط المصنع وطرق التشغيل اعتماداً كبيراً على ما إذا كانت كيفية عمليات الإنتاج مستمرة "Continuous"، أو على دفعات "Batches". من السمات المميزة أيضاً لتكنولوجيا البتروكيماويات الاستخدام الكثيف للعوامل الحفازة. من المفارقات أن عمليات التكسير بالبخار سواءً لغاز الإيثان، أو النافثا تتم داخل مفاعلات ضخمة تعمل بدون استخدام العوامل الحفازة "Non- Catalytic Reaction"، ويعتمد الإنتاج فيها بشكل مباشر على الحرارة، والضغط، وزمن التلامس. يتم خلط مادة التغذية من الغازات، أو المشتقات البترولية السائلة ببخار الماء ثم يمرر الخليط خلال مفاعلات ترتفع درجات الحرارة فيها إلى نحو 870 ^{0} م.

4.4.3. طاقات إنتاجية مرتفعة "Large Scale"

أصبحت ميزة الطاقات الإنتاجية المرتفعة أحد الخصائص المميزة الرئيسية لصناعة البتروكيماويات الحديثة. حيث توسعت الطاقات الإنتاجية لوحدات التكسير البخاري للنافثا لإنتاج الإيثيلين التي تم أنشائها في أواخر الخمسينات من القرن الماضي من 20 ألف طن سنوياً إلى نحو 50 ألف طن سنوياً في أوائل الستينيات، ثم سرعان ما ارتفعت إلى حوالي 100 ألف طن في منتصف الستينيات، وبلغت 300 ألف طن بنهاية الستينيات. إلى أن تم بناء مصانع حديثة لإنتاج الإيثيلين من النافثا بطاقات إنتاجية تراوحت ما بين 0.6 إلى 1.2 مليون طن سنوياً، في حين بلغت أكثر من 1.5 مليون طن سنوياً من مفاعلات التكسير البخاري لغاز الإيثان.

5.4.3. التوجه نحو العالمية "Internationality"

جاءت صـــناعة البتروكيماويات بعد الحرب العالمية الثانية وســـط توجه عالمي لمنع ومكافحة سياسات الاحتكار، وكان من الصعب على أي دولة أن تحتكر إنتاج البتروكيماويات على مســـتوى العالم من خلال إخفاء أو عدم الصـــفح عن التقنيات الجديدة المســـتخدمة. واصـــبحت تكنولوجيا البتروكيماويات أكثر تدويلاً على المســـتوى العالمي، بهدف ســـرعة استرداد تكاليف ونفقات تطوير التكنولوجيات في أقرب وقت ممكن. ومنذ بدء توسع صناعة البتروكيماويات وانتشـــارها خارج الولايات المتحدة الأمريكية في كل من أوروبا واليابان في فترة الخمسـينيات من القرن الماضـي، أصـبحت صـناعة البتروكيماويات صـناعة عالمية، خاصة في مجال التكنولوجيا المستخدمة، وتداول المواد الخام الأولية اللازمة للإنتاج، وتجارة المنتجات النهائية. ولم تستطع صناعة الصبغات الاصطناعية التي تطورت في أواخر القرن التاسع عشر، أو صناعة الكيماويات من الفحم، التي تطورت في القرن العشرين من أن تصل إلى مستوى العالمية الذي وصلت إليه صناعة البتروكيماويات.

5.3. ثورة البتروكيماويات في أوروبا

انطلقت ثورة البتروكيماويات في أوروبا في فترة الخمسينيات من القرن الماضي، مع بداية زيادة نمو الطلب على المنتجات البلاستيكية، وزيادة الاستهلاك الجماعي، نظراً لتطور مواصفات منتجات البلاستيك الاستهلاكية المستخدمة في الأغراض العامة، والمطاط الصناعي متعدد الأغراض. وشملت بعض تلك المنتجات تطوير منتجات البولي إيثيلين منخفض الكثافة بواسطة شركة " أي سي أي" في المملكة المتحدة، وتطوير منتجات البولي فينيل كلوريد بواسطة شركة "أي جي فاربين" IG Farben، وتطوير منتجات البولي ستيرين، والمطاط الصناعي، والبولي إيثيلين عالي الكثافة بواسطة شركة " هوكست" الألمانية، وتطوير البولي بروبيلين بواسطة شركة " مونتيكاتيني" الإيطالية.

مع بداية بناء مصانع التكسير البخاري للنافثا توسع إنتاج البوليمرات، والعطريات بسرعة في أوروبا، وبدأت الشركات الأوروبية في إنتاج الألياف الاصطناعية بعد فترة وجيزة من نظيراتها في الولايات المتحدة، واستطاعت أيضاً تطوير منتجاتها الخاصة. حيث أنتجت ألمانيا منتج "النيلون "6 من الفينول. كما بدأت شركة " أي سي أي" في عام 1955 في إجراء الأبحاث مع التركيز على التسويق، كما تم في نفس الوقت بدأ الإنتاج الكامل لمصنع "ويلتون" التابع للشركة. حصلت شركة دوبونت" DuPont، على حق استخدام براءة الاختراع لمنتج " نيلون 6" شركة "، وأنتجته على نطاق واسع في الولايات المتحدة الأمريكية في عام 1953. وكانت شركة " دوبونت" قد بدأت بالفعل في إنتاج ألياف الأكريليك في عام 1949، بينما بدأت شركة " أيه جي باير" Bayer AG الألمانية الغربية إنتاجه في عام 1951.

1.5.3. تطور تكنولوجيا البتروكيماويات في أوروبا

كان اكتشاف محفزات "زيغلر – ناتا" أكبر مساهمة من أوروبا في تاريخ صناعة البتروكيماويات، والتي مكنت من إنتاج مجموعة هامة من البوليمرات مثل البولي إيثيلين عالي الكثافة، والبولي إيثيلين الخطي منخفض الكثافة، والبولي بروبيلين، ومطاط الإيثيلين بروبيلين.

بدأت أوروبا في إنتاج الأوليفينات، والعطريات، بعمليات التكسير البخاري للنافثا، واعتمدت في البداية على تكنولوجيا إنتاج الإيثيلين التي تم تطويرها في الولايات المتحدة. ثم تطورت تكنولوجيا إنتاج البتروكيماويات بوتيرة متسارعة في دول أوروبا، وأصبحت موطناً لعدد كبير من الشركات الكبرى المطورة لتكنولوجيا البتروكيماويات. ونجحت الشركات الأوروبية في استخدام هذه التكنولوجيات على النطاق التجاري.

نجحت بعض الشركات في الاستفادة من تلك التكنولوجيات، والمرافق المتوفرة للإنتاج المشترك لكل من الإيثيلين، والأسيتيلين. ولم يعد هناك حاجة إلى الاعتماد على الأسيتيلين بشكل

رئيسي في إنتاج الأوليفينات بعد استقرار أسعار المنتجات البترولية وتطوير التكنولوجيات التي مكنت من إنتاج جميع البتروكيماويات تقريبًا من الأوليفينات.

تم تطوير عدد من التكنولوجيا الهامة لإنتاج الكيماويات العضوية الصناعية في أوروبا. وبدأت المصانع في استخدام عملية " هوكست- واكر" Hoechst-Wacker في عام 1959، لإنتاج الأسيتالديهيد بأكسدة الإيثيلين بالهواء، مما ساهم في انتشارها سريعاً على مستوى العالم، وفي عام 1962، حولت شركة "يونيون كربيد" Union Carbide، وشركات أمريكية أخرى مصانعها للإنتاج بهذه العملية.

تم تطوير طريقة تصنيع أسيتات الفينيل من الإيثيلين وحمض الأسيتيك في الحالة السائلة باستخدام نفس المحفز المستخدم في عملية "هوكست- واكر" في عام 1960 في الأتحاد السوفيتي، وبعد فترة وجيزة، طورت شركة "باير" Bayer وآخرون عملية الإنتاج في الحالة الغازية.

أُخترع منتج البولي إيثيلين منخفض الكثافة في عام 1933 بواسطة شركة " أي سي أي" البريطانية، وتم إنتاجه باستخدام البلمرة الجذرية تحت ضغط جوي عالي مع الأكسجين. في نفس الوقت، طور الكيميائي الألماني "كارل زيغلر" تكنولوجيا جديدة لإنتاج البولي إيثيلين تحت الضغط الجوي باستخدام محفز زيغلر- ناتا. وتم استخدام هذه الطريقة من قبل شركة "مونتيكاتيني" Montecatini الإيطالية في عام 1954، وشركة "هوكست" Hoechst الألمانية الغربية في عام 1955، وشركة "رون بولينك" الفرنسية Rhone Poulenc في عام 1956.

كان البولي إيثيلين منخفض الكثافة المنتج بهذه الطريقة، ذو خصائص وتطبيقات مختلفة تماماً عن البولي إيثيلين عالي الكثافة المنتج تحت الضغط العالي.

في غضون ذلك استخدمت شركة " فيليبس كميكال"Phillips Chemical، في الولايات المتحدة، محفزً جديد لأكسيد الكروم، بينما استخدمت شركة "استندرد أويل" Standard Oil محفز أكسيد الموليبدينوم في التقنيات الخاصة بها والتي تم تطويرها في عام 1957 لبلمرة البولي إيثيلين عالي الكثافة عند ضغوط تتراوح ما بين 30 إلى 40 جو. لهذا السبب، يُشار إلى طرق التصنيع التي تستخدم محفز زيغلر- ناتا على أنها عمليات الضغط المنخفض، بينما تسمى تلك المستخدمة بواسطة شركة "فيليبس" وغيرها من الطرق المماثلة بعمليات الضغط المتوسط.

في حين تم إنتاج البولي إيثيلين منخفض الكثافة من خلال عمليات الضغط العالي (البلمرة الجذرية)، واستخدام طرق البلمرة الحفزية لإنتاج البولي إيثيلين عالي الكثافة، لم يكن من الممكن إنتاج "بوليمرات البروبيلين عالية الأداء" عن طريق بلمرة البروبيلين. ولكن نجح الكيميائي الإيطالي "جوليو ناتا" في إنتاج البولي بروبيلين عالي الأداء من خلال تطوير طريقة البلمرة الفراغية النوعية للبروبيلين في وجود محفز ناتا. كانت شركة " مونتيكاتيني" أول شركة تضع البولي بروبيلين على نطاق الإنتاج التجاري. أنتجت الشركة راتنجات البولي بروبيلين في عام 1957في مصنعها في فيرارا (إيطاليا)، وبدأت في عام 1960 في إنتاج الألياف الاصطناعية في مصنع تيرني (إيطاليا).

ساهمت محفزات "زيغلر- ناتا" في إنتاج عدد من المنتجات الأخرى كالبيوتادايين، ومطاط البولي بيوتادايين عالي الأداء BR. في عام 1960 وضعت شركة " فيليبس بتروليوم" Phillips Petroleum هذه العملية قيد الاستخدام العملي في الولايات المتحدة، واستخدمت على النطاق التجاري في الولايات المتحدة في عام 1959.

2.5.3. دمج تكنولوجيا البتروكيماويات الأمريكية والأوروبية

أدى دمج تكنولوجيا البتروكيماويات الأمريكية مع تكنولوجيا الإنتاج في دول أوروبا إلى إنتاج منتجات البتروكيماويات بكميات كبيرة. واعتمدت كل من دول أوروبا واليابان في إنتاج الأوليفينات، والعطريات على تكنولوجيا التكسير البخاري للنافثا، والمنتجات البترولية الخفيفة. بينما طورت الولايات المتحدة، طريقة لاستخراج واستعادة الهيدروكربونات العطرية من النافثا المحسّنة تحفيزياً، لإنتاج الغازولين عالي الأوكتان، وسرعان ما تم اعتماد هذه الطريقة على نطاق واسع. واستخدمت هذه التكنولوجيا أيضاً لاستعادة الهيدروكربونات العطرية. وتحول البترول كمصدر لإنتاج العطريات في كل من الولايات المتحدة وأوروبا بشكل كبير بدلاً من قطران الفحم. وبدأ التحول نفسه في اليابان في أواخر الخمسينيات من القرن الماضي، أي بعد أوروبا بنحو خمس سنوات.

في مجال تكنولوجيا إنتاج المواد الكيميائية العضوية الصناعية، تم تطوير عملية الإماهة الحفزية المباشرة "Direct Catalytic Hydration Process " بدلاً من طريقة حمض الكبريتيك المستخدمة في إنتاج الإيثانول، وتم تطبيقها على النطاق التجاري في عام1948. وهكذا، تم تطوير التكنولوجيات التي تستخدم المحفزات، ولا سيما المحفزات الصلبة لتحقيق الإنتاج المباشر، أو إنتاج المركبات العضوية الوسيطة من الأوليفينات والهيدروكربونات العطرية، وأصبحت فيما بعد هي السائدة في صناعة البتروكيماويات.

قفزت تكنولوجيا إنتاج البوليمرات مع اكتشاف محفزات "زيغلر- ناتا"، ولم يصبح اكتشاف هذه المحفزات المركبة العضوية المعدنية، القوة الدافعة الرئيسية وراء التقدم في تكنولوجيا إنتاج البوليمرات فحسب، بل أدى أيضا إلى قفزات هائلة في صناعة البتروكيماويات من حيث حجم الإنتاج.

تمت اكتشـــافات العوامل الحفازة في كل من ألمانيا وإيطاليا، وليس في الولايات المتحدة التي كانت مهد صـــناعة البتروكيماويات، وهكذا لم تعد للولايات المتحدة هي الدولة الوحيدة المهيمنة على تكنولوجيا إنتاج البتروكيماويات.

3.5.3. نشأة صناعة البتروكيماويات في اليابان

طورت اليابان صناعة الكيماويات على نطاق واسع اعتماد على الفحم، والإيثانول الحيوي قبل وأثناء الحرب العالمية الثانية. وبعد هزيمتها في الحرب، بدأت في إعادة بناء الصناعة اعتماداً على مواردها الطبيعية من الفحم، والحجر الجيري. وبحلول أواخر الأربعينيات من القرن الماضي، تمكنت اليابان من الوصول إلى الكثير من المعلومات حول تقدم صناعة البتروكيماويات واستخدامات منتجات البوليمرات في الولايات المتحدة الأمريكية. استأنفت اليابان إنتاج "الأسيتالديهيد العضوي الوسيط" من الأسيتيلين. وفي أوائل الخمسينيات، تمكنت من إنتاج مجموعة من المنتجات القائمة على "الأسيتيلين"، بما في ذلك الفينيل كلوريد، والبولي فينيل كلوريد، والفينيل أسيتات، وراتنجات الميثاإكريلات، والنايلون.

بدأت اليابان أيضاً في إنتاج الفيثاليك أنهيدريد، والفينول، والكابرولاكتام، والنايلون من الفحم. كما زاد إنتاج راتنجات اليوريا باستخدام منتجات اليوريا والميثانول والفورمالدهيد. بالإضافة إلى إنتاج كل من السليوليد، وراتنجات الفينول، والحرير الصناعي. واستوردت اليابان أيضاً البولي إيثيلين منخفض الكثافة، والبولي ستيرين من الولايات المتحدة، ووجدت اليابان نفسها مندفعة بالكامل إلى عصر البوليمرات حتى قبل أن تنطلق بها صناعة البتروكيماويات بشكل كامل.

بداية ظهور صناعة البتروكيماويات في اليابان كان في عام 1952، حيث تمكنت اليابان من إنتاج الغاز الطبيعي (الميثان)، ثم بدأت شركة "كيماويات الغاز اليابانية" Japan Gas Chemical، بإنتاج الميثانول في مصنعها في مدينة "نيغاتا"، وتبع ذلك إنتاج الأمونيا واليوريا

في عام 1957. بدأت شركة "توبو كواتسو" Toyo Koatsu في عام 1958، في إنتاج الميثانول من الغاز الطبيعي.

تحول المنتجون في اليابان إلى استخدام الغاز الطبيعي، والنافثا، وغاز البترول المسال بدلاً من غاز فحم الكوك لإنتاج الميثانول. وبدأت صناعة البتروكيماويات في اليابان بالتكسير البخاري للنافثا، كما حدث في أوروبا. حيث تم تشغيل مصنع " إيواكوني" Iwakuni التابع لشركة ميتسوي للصناعات البتروكيماوية، وهو أول مصنع لتكسير النافثا بالبخار لإنتاج الإيثيلين في اليابان، ثم أضافت الشركة مصنع لإنتاج البولي إيثيلين، وأنشئت مصانع لإنتاج العطريات، وأكسيد الإيثيلين، والغلايكول، ثم بدأت في إنتاج الفينول، والأسيتون. من جانب آخر بدأت شركة "سوموتو كيميكال" Sumitomo Chemical، في إنتاج البولي إيثيلين في مصنع " أوي" Oe التابع لها. كما بدأت شركة "ميتسوبيشي بتروكيمكال" Mitsubishi Petrochemical، في إنتاج الستيرين، والبوتادايين.

بحلول الستينيات ونظرًا للتطور السريع في صناعة البتروكيماويات، بدأت اليابان في مواكبة الولايات المتحدة وأوروبا، وأصبحت هذه المناطق الثلاث هي الرائدة في صناعة البتروكيماويات العالمية. ونمت صناعة البتروكيماويات اليابانية بسرعة كبيرة في الستينيات حتى تجاوزت العديد من الدول الأوروبية في الطاقة الإنتاجية للإيثيلين.

احتلت صناعة البتروكيماويات اليابانية في نهاية الستينيات المرتبة الثانية على مستوى العالم بعد الولايات المتحدة. بلغ إنتاج اليابان من بوليمرات البلاستيك حوالي 100 ألف طن في منتصف الخمسينيات، ثم تضاعف الإنتاج بعد خمس سنوات فقط في عام 1960 بأكثر من خمسة أضعاف لتصل الطاقة الإنتاجية إلى حوالي 600 ألف طن. ثم قفز الإنتاج إلى 5 ملايين طن بعد عشر سنوات، ومنذ السبعينيات حتى الأن تمثل راتنجات البولي إيثيلين، والبولي بروبيلين، والبولي ستيرين، والبولي فينيل كلوريد، الراتنجات الأربعة الرئيسية في اليابان.

كانت اليابان مُنتج رئيسي "للحرير الصناعي" قبل الحرب العالمية الثانية، وكانت صناعة حرير "الرايون" من أوائل الصناعات التي تعافت بعد الحرب. بحلول عام 1965، شكلت ألياف الرايون، والأسيتات، والألياف الكيميائية الأخرى حوالي 48٪ من إجمالي المنسوجات، وأصبحت هذه الألياف تنافس الألياف الطبيعية، مثل القطن والصوف والحرير. شهد النصف الأخير من الستينيات طفرة في صناعة الألياف الاصطناعية، وبحلول عام 1970 احتلت الألياف الاصطناعية المركز الأول في الأسواق. واستمر ارتفاع نسبة الألياف الاصطناعية، لتمثل حالياً نحو 80٪ من إنتاج الألياف في اليابان.

6.3. نهاية ثورات البتروكيماويات في الولايات المتحدة واليابان وأوروبا

انتهى النمو الاقتصادي، ونمو صناعة البتروكيماويات الذي شهدته الولايات المتحدة الأمريكية، وأوروبا، واليابان في فترة السبعينيات من القرن الماضي بسبب الارتفاع الحاد في أسعار النفط الخام في عام 1973، ومرة أخرى في عام 1979. وانتهى عصر النفط الخام الرخيص، مما أدى إلى خفض معدلات التشغيل، ونتج عن ذلك ارتفاع كبير في تكاليف إنتاج البتروكيماويات، وأسعارها، ونتيجة لذلك انخفضت هوامش ربحية صناعة البتروكيماويات. وأدى ارتفاع التكلفة إلى انخفاض معدلات نمو صناعة البتروكيماويات في الثلاث مناطق الرئيسية لصناعة البتروكيماويات.

تخلى عدد كبير من الشركات العالمية الأمريكية، والأوروبية، عن التوسع في مشروعات البتروكيماويات داخل دولها، وتحولت إلى التركيز بدلاً من ذلك على النمو في مجالات جديدة لمنتجات الكيماويات، مثل إنتاج الأدوية. لم تكن تلك التحولات ناجحة على الدوام، ولم تنجح عدد من الشركات الرائدة مثل شركة " هوكست" الألمانية، وشركة" أي سي أي" الإنجليزية في المجالات الجديدة. بينما قامت شركات أخرى مثل "دوبونت"، و"باير" في التوجه نحو نشاطات أخرى في قطاعات الزراعة، والأدوية، وعلى الرغم من ذلك لم يكن نجاح هذه الشركات في القطاعات الجديدة يماثل نجاحهم في قطاع البتروكيماويات.

اختارت بعض شركات البتروكيماويات الأوروبية مثل شركة "باسف" وشركة " داو كيميكالز" الابتعاد عن نشاط البتروكيماويات، وقام عدد كبير منها بتقليص أعمالها في مجال البتروكيماويات الاستهلاكية، ولكنها أبقت عليها كأساس لعملياتها مع التحول إلى المنتجات الهندسية أو الوظيفية. اتبعت العديد من شركات البتروكيماويات اليابانية هذا المسار، ونجحت شركة "سانيو كيميكال" في أول إنتاج لراتنجات حمض البولي أكريليك الفائق الامتصاص على النطاق التجاري العالمي لأول مره في 1978. كما نجحت أيضاً شركة " زون" في عام 1990 في إنتاج، وتسويق البوليمرات الأليفاتية الحلقية "Cyclo Olefin Polymer" المستخدمة في تصنيع البصريات.

لم يقتصر الأمر على تطوير وإنتاج البوليمرات الوظيفية فقط، بل امتد الأمر إلى تطوير تقنيات التشغيل والقولبة، مما ساهم في إنتاج منتجات جديدة وظهورها في الأسواق، وتحولت الشركات إلى إنتاج منتجات تخصصية بهدف زيادة القيمة المضافة لمنتجات البتروكيماويات.

7.3. تطور صناعة البتروكيماويات في الصين

أنتجت الصين أول منتج بتروكيماويات من الألياف الاصطناعية، ومع زيادة نمو الطلب وحجم الإنتاج، اعتمدت الصين على استيراد عدد من المواد الخام مثل الإيثيلين غلايكول، والأكريلونيتريل، وحمض التيرفيثاليك النقي لإنتاج الألياف الاصطناعية. هيمنت صناعة المنسوجات الصينية على العالم في التسعينيات، وسعت الصين إلى التوسع في إنتاج الألياف الاصطناعية. أدى دخول الصين إلى هذا السوق إلى انكماش الأسواق في كل من اليابان والولايات المتحدة وأوروبا.

مع بداية العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، رفعت الصين طاقاتها الإنتاجية من الألياف الاصطناعية، لتشكل حوالي 70 % من الأسواق العالمية، مما أدى إلى تقليص حجم إنتاج دول مثل تايوان، وكوريا الجنوبية، اللتين برزتا كمصنّعين للألياف الاصطناعية في فترة

السبعينيات. كما بدأت الصين في نفس الوقت في التوسع في استيراد المواد الخام الأولية اللازمة لإنتاج السلع البلاستيكية الاستهلاكية.

تضخمت واردات الصين من البتروكيماويات، مما دفعها إلى بناء مشروعات بتروكيماويات اعتمادا على النافثا، بمشاركة شركات النفط والبتروكيماويات الأوروبية والأمريكية التي وفرت معظم التكنولوجيا. استمر التوسع في الطاقات الإنتاجية وتطور إنتاج وأسواق دول منطقة آسيا لتصبح أكبر الأسواق للمنتجات البتروكيماوية، من حيث نمو الطلب، وحجم الإنتاج. وانتقلت ثورة البتروكيماويات من الصين، إلى بعض الدول الاسيوية الأخرى مثل كوريا الجنوبية، وتايوان، ودول منطقة الآسيان.

8.3. ثورة صناعة البتروكيماويات في دول منطقة الشرق الأوسط

كان الحدث الأهم والأبرز، والذي كان له الأثر الأكبر على صناعة البتروكيماويات في الثمانينيات من القرن الماضي هو ظهور صناعة البتروكيماويات على نطاق واسع في دول الشرق الأوسط، وخاصة في دول الخليج العربي، كان هذا التطور انعكاسا لحالة نضوج تكنولوجيا البتروكيماويات التي تطورت بشكل كبير في أوروبا. وضع نمو الصناعة في دول منطقة الشرق الأوسط حدا لهيمنة المناطق الثلاث الرئيسية التي رسمت مشهد الصناعة من خمسينيات إلى سبعينيات القرن الماضي، والتي تحولت صناعة البتروكيماويات فيها إلى إنتاج البوليمرات المتخصصة الهندسية، والإنشائية، والعمل على تطوير تكنولوجيات جديدة موفرة للطاقة وتقد يم حلول تكنولوجية للقضايا البيئية الناتجة عن صناعة البتروكيماويات.

استفادت دول منطقة الشرق الأوسط من الارتفاع الحاد في أسعار النفط خلال فترة السبعينيات، ووضعت الحكومات المعنية خططًا لتعزيز الصناعات غير النفطية. وتم تعظيم الاستفادة من الغاز البترولي المصاحب منخفض القيمة الاقتصادية الذي كان مهملاً لفترات طويلة لتنمية صناعة البتروكيماويات. كان يتم حرق الغاز البترولي المصاحب والتخلص منه،

إلى أن تم توفيره كمادة خام أولية لمنتجي البتروكيماويات بتكاليف منخفضة للغاية (قريبة من الصفر) وحتى وقت قريب جداً، وكان سعره أرخص من سعر الغاز الطبيعي. مما جعل صناعة البتروكيماويات في الشرق الأوسط صناعة تنافسية للغاية في السوق العالمية. يبين الشكل (30) عمليات حرق الغاز البترولي المصاحب.

الشكل (30): عمليات حرق الغاز البترولي المصاحب

المصدر:-https://www.theworldreporter.com/2016/12/associated-petroleum-gas-flaring-the-problem-and

كانت صناعة البتروكيماويات في دول منطقة الشرق الأوسط كبيرة جدًا من حيث الحجم، ولكنها بسيطة من حيث الهيكل، وبدأ إنتاج البتروكيماويات فيها بعدد صغير من منتجات المواد الكيميائية العضوية الصناعية، والصناعات التي تعتمد مباشرةَ على منتج الإيثيلين، مثل البولي إيثيلين، والبولي إيثيلين غلايكول، والستيرين، والإيثانول الاصطناعي.

كانت معظم مشروعات البتروكيماويات عبارة عن مشروعات مشتركة بين الشركات الحكومية، وشركات التكنولوجيا الأوروبية، والأمريكية التي وفرت بالكامل التكنولوجيا المستخدمة. ولجأت إلى التعاقد من الباطن مع شركات الانشاءات الهندسية من أوروبا.

كان الطلب المحلي على المنتجات البتروكيماوية في دول الشرق الأوسط ضئيل، لذلك، كان معظم الإنتاج موجه نحو التصدير، وتم إعادة توجيه الجزء الأكبر من الصادرات إلى الأسواق الآسيوية، نظرا للظهور المتزامن والنمو الحاد في الطلب في أسواق دول آسيا على منتجات البتروكيماويات.

في منتصف الثمانينيات، بدأ منتجو النفط في الشرق الأوسط المرحلة الأولى من خطة البتروكيماويات، وحققت مبيعات المنتجات تقدمًا ملحوظاً. وفي نفس الوقت تقريبًا، تباطأ التوازن العالمي بين العرض والطلب على النفط وانخفضت أسعار النفط بشكل كبير، مما أدى إلى مشاكل في التمويل أخرت بدء المرحلة الثانية من الخطة. ثم استأنفت أسعار النفط مسارها التصاعدي، مما سمح لمنتجي النفط في الشرق الأوسط بزيادة استثمارها، والتوسع في إضافة طاقات إنتاجية جديدة للبتروكيماويات.

مع التوسعات الهائلة في الطاقات الإنتاجية من البتروكيماويات في دول منطقة الشرق الأوسط واجهت الدول العربية تحديات عدم كفاية الإمدادات من غاز الإيثان الناتج من غاز البترول المصاحب لمزيد من التوسعات. مما اضطرها إلى التحول إلى تنويع استخدام خليط المواد الخام الأولية كغاز البترول المسال والمتكثفات، وكلاهما كان من المنتجات المُعدة للتصدير كمواد خام أولية. وعمدت الدول العربية إلى تحديد أسعار تلك المواد الخام بأسعار تقل عن أسعار تصديرها من أجل دعم صناعة البتروكيماويات المحلية، والمصانع التي تعتمد على تلك المواد الخام الأولية في إنتاج البتروكيماويات.

الفصل الرابع

الحلول التكنولوجية للقضايا البيئية في صناعة البتروكيماويات

الفصل الرابع
الحلول التكنولوجية
للقضايا البيئية في صناعة البتروكيماويات

4. تمهيد

تواجه صـــناعة البتروكيماويات مجموعة من التحديات الصـــعبة، بما في ذلك القضـــايا البيئية، وأصبحت حماية البيئة أولوية قصوى لشركات البتروكيماويات في جميع أنحاء العالم، وقد اســـتوعبت صـــناعة البتروكيماويات بالفعل اســـتثمارات رأســـمالية كبيرة لإيجاد حلول تكنولوجية ناجعة لمعالجة القضـــايا البيئية المختلفة والحد من أثارها على البيئة والمجتمعات البشرية.

شملت حلول ومعالجة بعض القضايا البيئية، زيادة أنشطة البحث العلمي والتطوير في مجالات انتقاء وتطوير العوامل الحفازة لزيادة إنتاج وتحسين مواصفات المنتجات المطلوبة، وتطوير منتجات جديدة تستخدم مواد خام أولية منخفضة التكلفة، وتطوير عمليات صناعية تتكون من مراحل إنتاجية أقل بهدف خفض عدد المنتجات الثانوية، التي قد يكون لها تأثيرات ضاره على البيئة، بالإضافة إلى تطوير عمليات جمع وتحييد المواد المتطايرة، وإزالة أكاسيد الكبريت، والنيتروجين، والمركبات العضوية من غازات المداخن وغازات العوادم.

شملت كذلك الحلول البيئية إزالة المواد العضوية، وأثار إضافات الغازولين "رباعي إيثيل الرصاص، MTBE "، ومشكلات التخلص من النفايات البلاستيكية، التي يصعب إزالتها من مياه الصرف الصناعي، والمسطحات المائية. وتعد الحلول التكنولوجية للقضايا البيئية إجراءات وقائية لا مفر منها على الرغم من تكلفتها الاستثمارية باهظة الثمن.

1.4. تكنولوجيات موفرة للطاقة وخافضة لنسب التلوث

في أعقاب الارتفاع الحاد في أسعار النفط وظهور الاهتمام بموضوعات البيئة والسلامة والصحة المهنية في السبعينيات من القرن الماضي، شهدت بالفعل صناعة البتروكيماويات في هذه الفترة نشاط في تطوير العوامل الحفازة عالية النشاط لإنتاج الأوليفينات، وتطورت تكنولوجيا الإنتاج على المستوى التجاري دون الحاجة إلى إزالة المحفز بعد عمليات البلمرة. وتم إنتاج البولي إيثيلين عالي الكثافة بهذه التكنولوجيا المطورة، كما توسعت عمليات تطوير منتجات جديدة من البولي إيثيلين عالي الكثافة، والمستخدمة في إنتاج الأفلام الرقيقة لأغراض التعبئة والتغليف، والتي استخدمت على نطاق واسع في انتاج الأكياس البلاستيكية ذات الاستخدام الواحد.

من جانب آخر تم تطوير ودمج عدد من التكنولوجيات الموفرة للطاقة وتطبيقها على مستوى الإنتاج التجاري في الثمانينيات من القرن الماضي، ويعد إنتاج منتجات البولي إيثيلين الخطي منخفض الكثافة "LLDPE"، في نفس منشآت إنتاج البولي إيثيلين عالي الكثافة هو أحد نواتج تطورات تكنولوجيا البتروكيماويات الموفرة للطاقة.

أدت التطورات الإضافية في الثمانينيات إلى تطوير طرق بلمرة جديدة لا تتطلب إزالة الكلس، وتطوير طرق بلمرة الطور الغازي "Gas-Phase Polymerization Method"، مما أتاح إنتاج البولي بروبيلين بهذه التقنية على مستوى النطاق التجاري. كما ساهم بشكل مباشر تطوير العوامل الحفازة عالية النشاط في إنتاج البولي بروبيلين ذو التنظيم الفراغي المنتظم في خفض كميات الطاقة اللازمة لإنتاجه (60-65).

يتطلب إنتاج الكلور بطرق التحليل الكهربائي، والازم لإنتاج بعض منتجات البتروكيماويات استثمارات كبيرة في الطاقة، ثم يتم التخلص الكلور في النهاية على شكل كلوريدات، وهو ما يمثل هدراً للطاقة. لذا فقد تم إجراء عدد من البحوث لاستنباط طرق إنتاج جديدة خالية من الكلور، نتج عنها إمكانية إنتاج منتجات بتروكيماويات جديدة مثل أكسيد البروبيلين خالية من الكلور على الرغم من استخدامه أثناء عمليات الإنتاج. كما تم تطوير تكنولوجيا لإنتاج البولي كربونات بتفاعلات كربونات ثنائي الفينيل، بدلاً من طرق إنتاجه بتفاعلات الفوسجين التقليدية، ووجدت هذه التكنولوجيات طريقها إلى الإنتاج التجاري.

أُنتج الميثيل ميثا إكريلات "MMA" ولأكثر من 50 عام، بتفاعل الأسيتون مع سيانيد الهيدروجين، وهي ما عرفت بطريقة الأسيتون سيانوهيدرين " Acetone Cyanohydrin Process". كانت أحد أهم المخاطر الرئيسية لهذه الطريقة هي الاعتماد على "سيانيد الهيدروجين"، وهو مركب شديد السمية، بالإضافة إلى إنتاج كبريتات الأمونيوم الهيدروجينية Ammonium Hydrogen Sulfate، وهو منتج شديد الخطورة عند حرقة" كمنتج ثانوي، بكميات تتجاوز حوالي 50 % من كميات المنتج الرئيسي. قامت مراكز البحوث والتطوير في عدد من شركات إنتاج الكيماويات الكبرى بتطوير تكنولوجيا إنتاج الميثيل ميثا إكريلات في الثمانينيات من القرن الماضي، وشملت عمليات التطوير تعديل بعض خطوات عمليات الإنتاج، ودمجها في تكنولوجيا جديدة على النطاق التجاري، بهدف خفض نسب التلوث بالمواد شديدة السمية والخطرة، وعدم إنتاجها مثل سيانيد الهيدروجين، وكبريتات الأمونيوم الهيدروجينية.

عملت شركة "ميتسوبيشي غاز كيميكالز" اليابانية على تطوير تكنولوجيا جديدة يتم فيها إنتاج الميثيل ميثا إكريلات باستخدام طريقة الأسيتون سيانوهيدرين، ولكن لا ينتج عنها كبريتات الأمونيوم هيدروجين. كما طورت كل من شركة " ميتسوبيشي رايون" Mitsubishi Rayon، وشركة " نيبون شكوبي" Nippon Shokubai طرق جديدة تعتمد على تفاعلات أكسدة الأكسجين، مع استخدام كحول الأيزوبيوتيلين، أو ثلاثي البيوتيل كمواد أولية.

زاد حجم سوق قطاع البتروكيماويات مع زيادة إنتاج أنواع مختلفة من البلاستيك، وأصبح البلاستيك يخترق تدريجياً قطاعات مختلفة تهيمن عليها مواد أخرى تقليدية مثل الخشب والمعادن كقطاع التشييد والبناء وقطاع صناعة السيارات والنقل. ويرجع ذلك جزئيًا إلى زيادة الاهتمام بتوفير الطاقة، وتقليل الانبعاثات الناتجة عن المنتجات التقليدية المستخدمة في هذه القطاعات.

هيمنت لفترات طويلة السبائك الصلبة التقليدية على قطاع صناعة السيارات، والنقل، ونظراً للضغط المتزايد باستمرار لتحسين كفاءة الوقود، وزيادة معدلات النمو وانتشار السيارات الكهربائية حول العالم، أصبح هناك ضرورة مُلحة لاستخدام مواد جديدة تساهم في تحسين كفاءة استخدام الوقود. وتغطي سياسات تحسين كفاءة المحركات وخفض معدلات استهلاك الوقود في العديد من دول العالم في الوقت الحالي حوالي 80٪ من مبيعات سيارات الركوب الخفيفة، ونحو 50٪ من مبيعات الشاحنات (60-65).

ويبدو أن اشتراطات كفاءة وخفض معدل استهلاك الوقود ستزداد خلال الفترات القادمة، ووضعت عدد من دول العام أهدافاً محددة لخفض أوزان السيارات. لذا فإن استخدام مكونات للسيارات مصنعة من المنتجات البلاستيكية، ومواد أخرى عالية القوة كالفولاذ والألمنيوم خفيفة الوزن تهدف إلى تحسين كفاءة الوقود وخفض معدلات الاستهلاك. وهو الاتجاه الذي اتخذته بالفعل الولايات المتحدة خلال الفترة 1995-2014، فحددت أهدافاً لخفض وزن السيارة بنسبة 30٪ في عام 2025، لتصل إلى حوالي 50٪ بحلول عام 2050. مما ساهم في رفع نسب المكونات والأجزاء البلاستيكية، والمطاط المستخدمة في مركبات الخدمة الخفيفة. وتعتبر الراتنجات "المقواة بألياف الكربون" من أكثر المواد البلاستيكية شيوعاً، والمستخدمة في تصميم المركبات خفيفة الوزن، ولكن على النطاق الصناعي، فإن خيارات إعادة التدوير لهذه المواد تظل ضئيلة، ويرجع ذلك أساساً إلى إتلاف الألياف الصناعية أثناء عمليات إعادة التدوير. علاوة على ذلك، فإنه لا يتم التحكم بشكل جيد في بعض خواص ألياف الكربون المعاد تدويرها، مما يقلل من جودة أداء ألياف الكربون المعاد تدويرها (60-65).

من جانب آخر تعتمد معظم مواد العزل الحراري المستخدمة في قطاع البناء على منتجات البلاستيك والتي تشكل نسبة حوالي 90-95 ٪ من إجمالي نسب مواد العزل الحراري الأخرى المستخدمة. وعلى الرغم من أن استخدام المواد العازلة قد يكون له تأثيرات بيئية ضارة، كانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون والناتجة أثناء تصنيع بعض المواد العازلة من منتجات البولي يوريثان، والبولي سترين، وكذلك صعوبة إعادة تدوير نفايات تلك المنتجات بعد نهاية عمرها الافتراضي. إلا أن استخدام بعض منتجات البتروكيماويات المتطورة ذات خواص هندسية محسنة لتحسين الأداء الحراري للمباني ساهم في توفير الطاقة المستخدمة لتبريد المباني، وتعتبر المقاومة الحرارية لمواد العزل الحراري المنتجة من "البولي يوريثان" هي الأعلى من بين جميع أنواع المنتجات العازلة المستخدمة. كما ساهم استخدام "المواد الرغوية القابلة للتوسيع منخفضة الضغط " بشكل كبير في خفض تسريب الهواء والحرارة. وساعد كذلك طلاء الاسقف العاكسة المصنوعة من المواد البلاستيكية في تبريد المباني في الأجواء الدافئة.

أما في مجال إنتاج الألياف الاصطناعية، فقد تم اعتماد العديد من التكنولوجيات على المستوى التجاري تتميز بانخفاض معدلات استهلاك الطاقة عن طريق خفض الزمن الازم لعمليات البلمرة. كما لعبت أيضاً منتجات البتروكيماويات دورًا رئيسياً في خفض تكاليف توليد الكهرباء من الطاقات المتجددة، ففي قطاع طاقة الرياح مثلاً، يمكن أن تساعد المواد البلاستيكية خفيفة الوزن في مواجهة تحديات إنتاج "ريش التوربينات الطويلة"، وبالتالي زيادة كفاءة توليد الطاقة النظيفة، ويمكن أن تساعد المواد المبتكرة أيضًا في زيادة متانة توربينات الرياح، وبالتالي تقليل تكلفة الصيانة الدورية. وغيرها من المساهمات الفاعلة إنتاج مكونات إنتاج الخلايا الضوئية اللازمة لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية (60-65).

2.4. تحديات تلوث الهواء والمياه

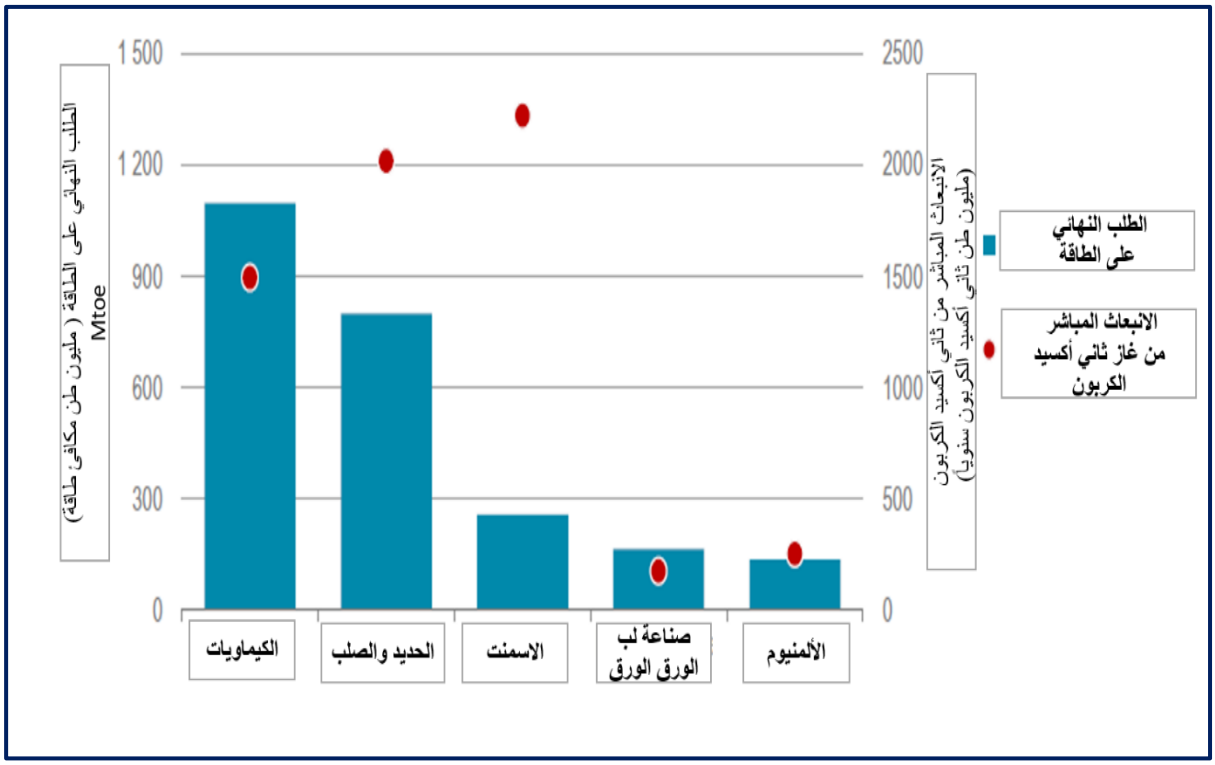
تسـببت مجمعات منشـآت البتروكيماويات ومصـافي النفط في ارتفاع نسـب انبعاثات ملوثات الهواء، مثل ثاني أكسيد الكبريت، وأكسيد النيتروجين، والمركبات العضوية، والغبار، وكذلك زيادة نسـب الملوثات في المياه، مثل ارتفاع نسـب "الاحتياج الحيوي للأكسـجين" BOD، ونسـب "طلب الأكسـجين الكيميائي الحيوي" أو ما يعرف أيضـا بالأكسـجين الحيوي الممتص COD. لذا فقد قامت شـركات التكرير والبتروكيماويات في أوائل السـبعينيات من القرن الماضي بتنفيذ عدد من التدابير البيئية لخفض نسب ملوثات الهواء والمياه بشكل مكثف عن طريق التوسع في تركيب معدات إزالة الكبريت من غاز المداخن، وتركيب معدات تجميع الغبار الناتج، وتعديل ظروف تشـغيل الغلايات، وتركيب معدات إزالة النيتروجين، وإدخال عمليات المعالجة الأولية لمياه الصـرف الصـناعي، مثل الترسـيب المتخثر، وفواصـل الزيت، وتطبيق عمليات معالجة المياه الثانوية، مثل أنظمة الحمأة المنشـطة. ومع ذلك، فإن تطوير أسـاليب خفض نسـب التلوث عن طريق خفض كميات المنتجات الثانوية جاء ليشـكل جوهر التطور التكنولوجي في صـناعة البتروكيماويات منذ ذلك الوقت وحتى الآن. واستفادت بشكل مباشـر المناطق الحضـرية والتي ارتفعت فيها نسـب الانبعاثات، والملوثات من مخططات التنمية المجتمعية والتي تُلزم الشـركات بالتحكم وخفض أحمال التلوث البيئي الكلي للمناطق الصناعية.

1.2.4. انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من قطاع الكيماويات

تعد صناعة البتروكيماويات من أكبر الصناعات المستهلكة للطاقة، حيث أن أكثر من 50 % من مدخلات الصناعة اللازمة للإنتاج والتي تستخدم كمواد أولية، أو وسيطة يتم توفيرها من إمدادات الغاز الطبيعي أو من المشتقات البترولية الخفيفة. وتأتي صناعة لبتروكيماويات في الترتيب الثالث من حيث الصناعات الأعلى إنتاجاً لملوثات الهواء الجوي من غاز ثاني أكسيد الكربون بعد قطاع الحديد والصلب، وقطاع الأسمنت. يبين الشكل (31) الطلب العالمي

النهائي على الطاقة والانبعاثات المباشرة من غاز ثاني أكسيد الكربون حسب القطاع في عام 2017.

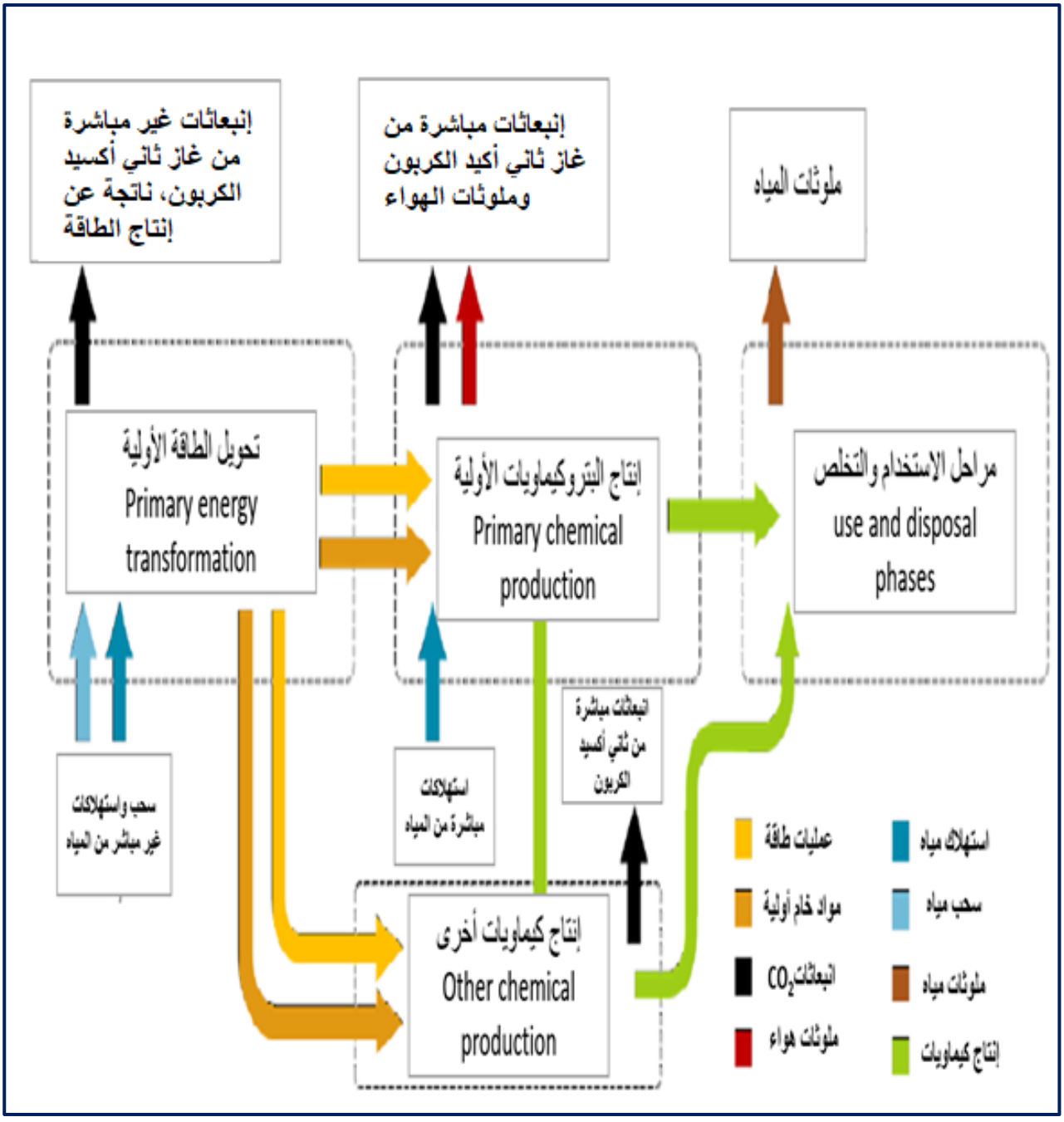
الشكل (31): الطلب العالمي النهائي على الطاقة والانبعاثات المباشرة من ثاني أكسيد الكربون حسب القطاع في عام 2017



المصدر: The future of petrochemicals

كما تنتج ايضاً المزيد من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، وملوثات الهواء الأَخرى نتيجة الاستخدام النهائي لبعض منتجات البتروكيماويات مثل الأسمدة، والمنظفات الصناعية. وبدون إدارة فعالة لمعالجة لملوثات الهواء والمياه، والنفايات والتخلص منها، خاصة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، وملوثات الهواء الأَخرى، بالإضافة إلى زيادة الطلب المتنامي على المياه اللازمة للعمليات الصناعية والعمليات المساعدة الأَخرى، فمن الممكن أن يتسبب ذلك في المزيد من الأعباء البيئية [54]. يبين الشكل (32) الانبعاثات والملوثات البيئية الرئيسية في صناعة البتروكيماويات.

الشكل (32): الانبعاثات والملوثات البيئية الرئيسية في صناعة البتروكيماويات



المصدر: The future of petrochemicals

هذا وتبلغ كميات انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون الناتجة سنوياً من صناعة البتروكيماويات على مستوى العالم حوالي 1.5 جيجا طن ($GtCO_2$)، وهو ما يمثل حوالي 18٪ من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة من مختلف القطاعات الصناعية الأخرى.

تنتج انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في قطاع البتروكيماويات بشكل رئيسي من مصدرين رئيسيين، هما إطلاق نحو 1.3 جيجا طن ثاني أكسيد الكربون، وهو ما يعادل نحو 85٪ نتيجة حرق الوقود لتوليد الحرارة، سواء بشكل مباشر أو لإنتاج البخار في الموقع. والمصدر الأخر بسبب العمليات الصناعية نتيجة الاختلاف الناتج في محتوى الكربون بين المادة الأولية المستخدمة في الإنتاج والمنتج النهائي، والذي يتسبب في إطلاق نحو 0.2 جيجا طن ثاني أكسيد الكربون، وهو ما يعادل نحو 15 %. من جانب آخر تبلغ نسب انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون الناتجة من إنتاج المواد الكيميائية الأولية حوالي 60٪ من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في البتروكيماويات.

تعد الأمونيا هي أكبر مصدر منفرد من بين المنتجات الكيميائية الأولية (الأمونيا، والبتروكيماويات عالية القيمية، والميثانول" لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون، حيث تساهم بنسبة 49٪ من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، حيث أن إنتاج طن واحد من الأمونيا والذي يمثل فيه محتوى الكربون "0%"، يلزم له استخدام حوالي 0.4 طن من غاز الميثان "75٪ كربون" كمادة خام أولية، وهو ما يعني أن كمية انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن العملية لكل طن من الأمونيا ستكون حوالي 1.1 طن من ثاني أكسيد الكربون (tCO_2). ثم تأتي البتروكيماويات عالية القيمة في المرتبة الثانية من حيث إنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون بنسبة حوالي 27%. ثم يليها إنتاج الميثانول بنسبة تبلغ حوالي 24٪.

تتناسب نسب انبعاثات الملوثات من غاز ثاني أكسيد الكربون المُنتجة من البتروكيماويات الأولية، في مناطق الإنتاج الرئيسية مع إجمالي طاقاتها الإنتاجية، ونوع المواد الأولية المستخدمة في الإنتاج. حيث تمثل انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون الناتجة من العمليات الصناعية في دول منطقة آسيا والمحيط الهادئ نسبة كبيرة، خاصة في الصين التي تستخدم الفحم كمادة خام أولية بشكل في الإنتاج. وعلى النقيض من ذلك نجد أن دول منطقة الشرق الأوسط، وخاصة دول الخليج العربي والتي تستخدم مواد أولية أخف مثل" الغاز الطبيعي، والمشتقات البترولية الخفيفة والسائلة" تظهر نسب أقل.

نسب انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن إنتاج الأمونيا، والميثانول من الفحم أعلى بنحو مرتين ونصف تقريباً، وخمس مرات تقريباً، على التوالي، مقارنة بإنتاجهما من الغاز الطبيعي. من جانب آخر تُقدَّر كميات انبعاثات الغازات الدفيئة غير ثاني أكسيد الكربون الناتجة من صناعة من البتروكيماويات ما يعادل حوالي 350-400 مليون طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون ($MtCO_2$-eq).

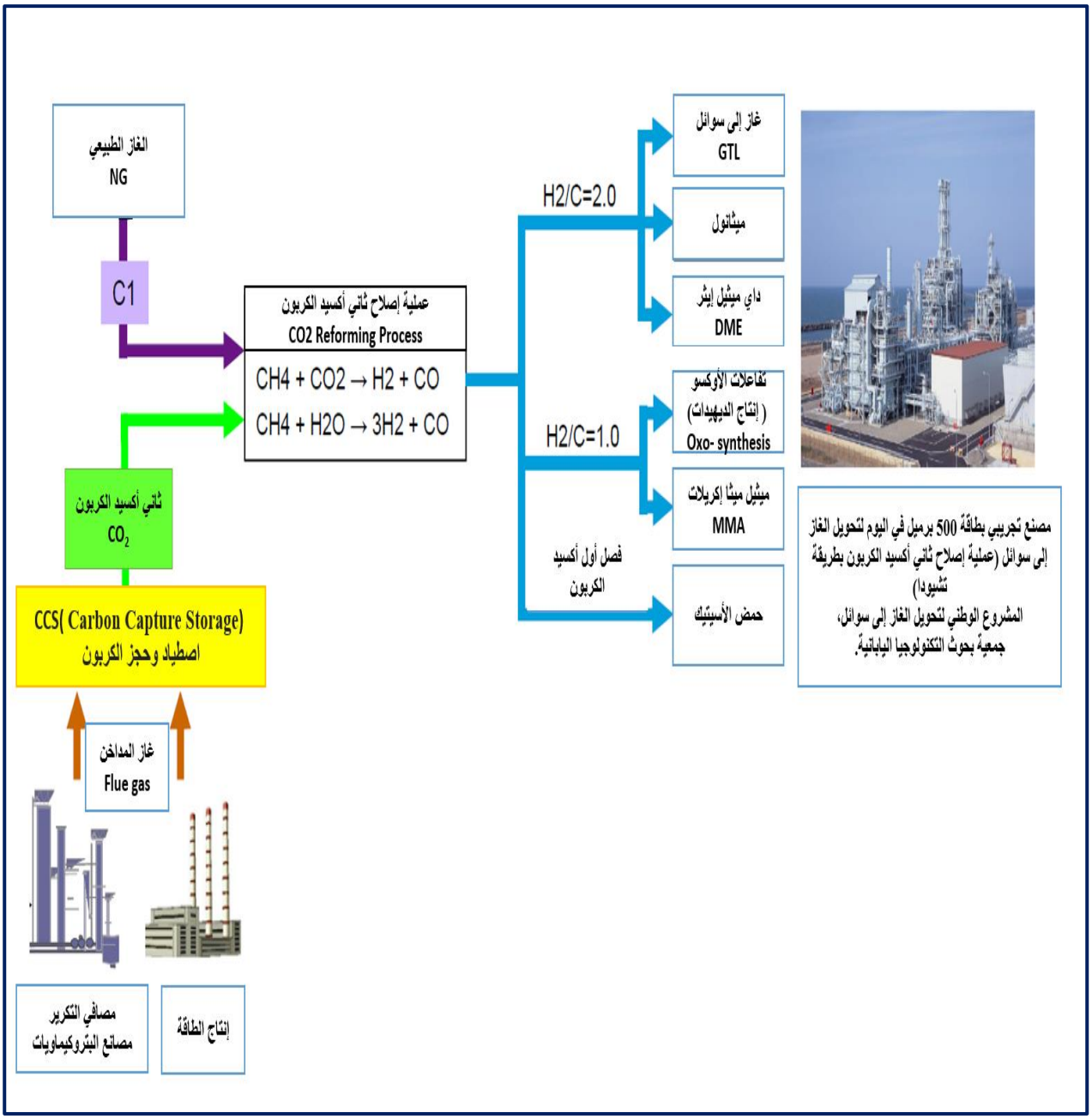
كما هو الحال في القطاعات الصناعية الأخرى، فإن ثاني أكسيد الكربون الناتج من قطاع البتروكيماويات له ثلاث مسارات فقط ممكنة، حيث يمكن إطلاقه في الغلاف الجوي، أو استخدامه، أو تخزينه. إن مفهوم التقاط "اصطياد" أو احتجاز الكربون، واستخدامه، وتخزينه (Carbon Capture Utilization and Storage) هو عبارة عن مجموعة من التكنولوجيات والاستراتيجيات التي تهدف للتخفيف من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون للحفاظ على البيئة، وتعظيم الاستفادة منه.

يتم التقاط حوالي 1.7 مليون طن سنوياً من ثاني أكسيد الكربون في الولايات المتحدة الأمريكية من منشآت إنتاج الأسمدة، بخلاف تلك الناتجة عن اليوريا (Global CCS Institute، 2018)، والتي تقدر بحوالي 130 مليون طن في السنة، أي ما يعادل حوالي 9٪ من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المباشرة من قطاع الكيماويات (Neelis et al.، 2005)، وتستخدم بشكل مباشر في استخراج النفط. تمثل كمية ثاني أكسيد الكربون الملتقطة في الولايات المتحدة الأمريكية من حيث الحجم حوالي 7٪ من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون الناتجة من إنتاج الأمونيا. وتصل تكلفة التقاط ثاني أكسيد الكربون الناتج من عمليات إنتاج الأمونيا إلى نحو 25 دولار أمريكي / طن من ثاني أكسيد الكربون.

تعمل الولايات المتحدة الأمريكية على زيادة الحوافز التشجيعية على تخزين واستخدام ثاني أكسيد الكربون من خلال ما يسمى بتشريع "Q45"، الذي يحتوي على بند لرفع الإعفاء الضريبي للتخزين الجيولوجي الدائم لكل طن من ثاني أكسيد الكربون من 22 دولار إلى 50

دولار بحلول عام 2026. وتشير التقديرات إلى أن هذه المبادرة من الممكن أن تزيد من حجم احتجاز ثاني أكسيد الكربون في الولايات المتحدة بكميات تتروح ما بين 10-30 مليون طن على مدى الست سنوات القادمة. تستخدم معظم كميات ثاني أكسيد الكربون الملتقطة في الولايات المتحدة في تحسين اقتصادات استخراج النفط. يبين الشكل (33) تكنولوجيا اصطياد وتخزين الكربون، واستخداماته في إنتاج البتروكيماويات.

الشكل (33): تكنولوجيا اصطياد وتخزين الكربون، واستخداماته في إنتاج البتروكيماويات



المصدر: Innovations in Petroleum Refining Industry and Role of Japanese Refining Technology,2015

بينما تبدو التوقعات في بعض دول أوروبا أقل تشجيعًا، فقد حظرت ألمانيا تخزين غاز ثاني أكسيد الكربون على نطاق واسع، من خلال التوقيع على "قانون تخزين ثاني أكسيد الكربون" في عام 2012، مما يقيد من إجمالي كميات التخزين إلى 24 مليون طن سنوياً. على النقيض من ذلك، تمتلك هولندا خططاً طموحة، بتمويل تخزين 18 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون من مختلف المصادر الصناعية سنوياً بحلول عام 2030، وهذا يعادل 30% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الصناعية المستهدفة في هولندا.

يعد استخدام ثاني أكسيد الكربون في بعض الأغراض الصناعية المتخصصة، مثل إنتاج اليوريا، والمشروبات الغازية من الاستخدامات واسعة الانتشار، ولكن هذه الطرق الخاصة تؤدي إلى خفض محدودة لدورة الحياة لغاز ثاني أكسيد الكربون الكاملة. فبمجرد فتح المشروبات الغازية، أو وضع سماد اليوريا في التربة، يبدأ إطلاق ثاني أكسيد الكربون مرة أَخرى في الغلاف الجوي [54].

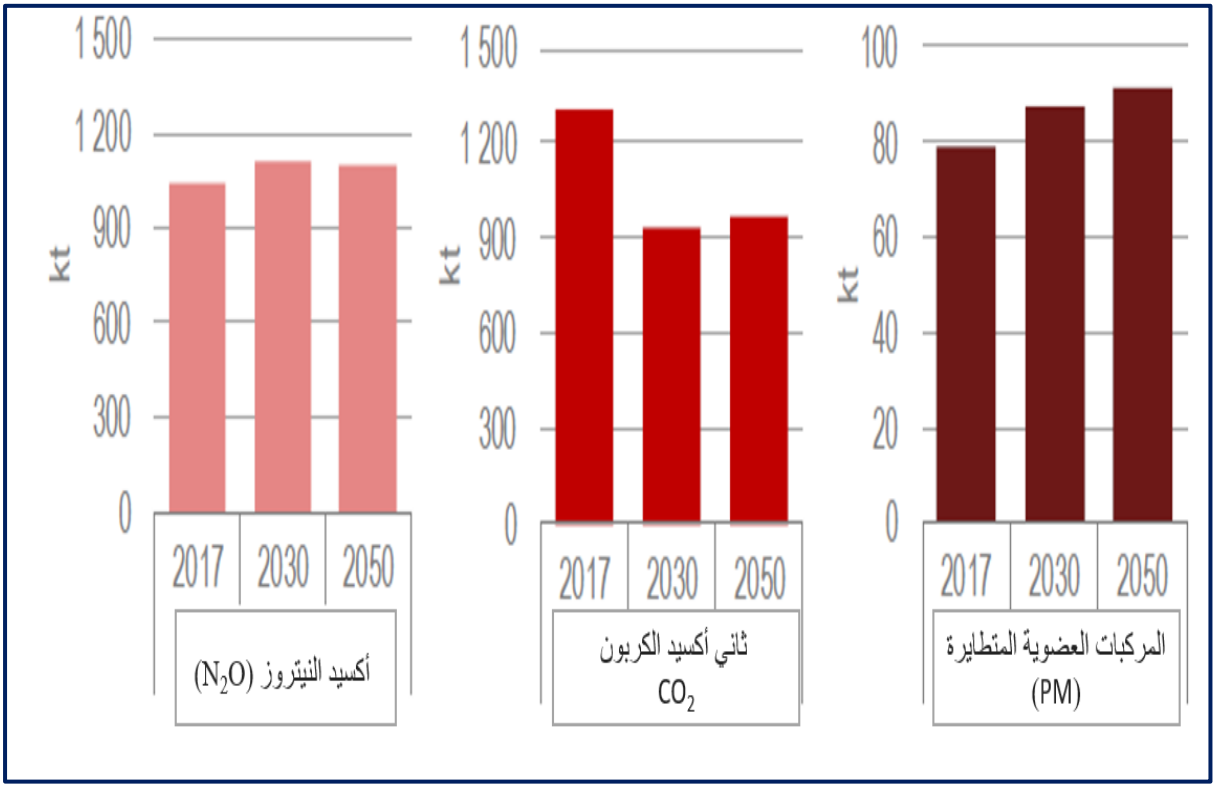
2.2.4. الانبعاثات غير المباشرة والمرتبطة بالمنتجات الكيميائية

على الرغم من فوائد منتجات البتروكيماويات المتزايدة، إلا أن هناك مزيد من الأعباء البيئية، حيث تعتبر منتجات البتروكيماويات أحد المصادر الرئيسية المحتملة لانبعاثات المركبات العضوية المتطايرة. وتشير الأبحاث الحديثة إلى أن المنتجات الكيميائية من المواد اللاصقة، والدهانات، والمبيدات الحشرية تعتبر المصدر الرئيسي لتلوث الهواء في المدن. كما يسبب استخدام الأسمدة النيتروجينية في التربة، تفاعلات ينبعث منها أكسيد النيتروز (N_2O) كمنتج ثانوي ينطلق إلى الغلاف الجوي [60-65].

تقدر كميات انبعاثات أكسيد النيتروز من الأسمدة النيتروجينية المركبة بحوالي 2.3 مليون طن سنوياً، وهو ما يعادل حوالي 610 مليون طن مكافئ من ثاني أكسيد الكربون، أو ما يمثل نحو 40٪ من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون المباشرة في قطاع البتروكيماويات.

يبين الشكل (34) معدلات تلوث الهواء الناتجة من إنتاج المواد الكيميائية الأولية خلال الفترة 2017-2050.

الشكل (34): معدلات تلوث الهواء الناتجة من إنتاج المواد الكيميائية الأولية خلال الفترة 2017-2050



المصدر: Plastics Europe (2017) , *Plastics – the Facts 2017*, www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf.

3.2.4. المشكلات الناتجة عن استخدام إضافات الغازولين

يعد منتج رباعي إيثيل الرصاص "TEL" أحد أول منتجات البتروكيماويات المنتجة على المستوى التجاري في عشرينيات القرن الماضي في الولايات المتحدة الأمريكية، وتم إضافته إلى الغازولين لتعزيز رقم الأوكتان.. كما استخدام أيضاً رباعي إيثيل الرصاص مع ثنائي بروميد الإيثيلين لمنع تراكم أكسيد الرصاص في المحرك نتيجة عمليات احتراق وقود الغازولين. منتج رباعي إيثيل الرصاص منتج شديد السمية، وأصبح تلوث الهواء الناجم عن مركبات الرصاص المنبعثة من عوادم السيارات، والتسمم المزمن بالرصاص بين سكان

الطريق من القضايا البيئية، ومن المشكلات الهامة التي واجهت صناعة البتروكيماويات في أواخر الستينيات من القرن الماضي لذلك تم التحول لاحقاً إلى إنتاج الغازولين الخالي من الرصاص.

كما بدأت الشركات المنتجة للغازولين في فترة الثمانينيات في الولايات المتحدة الأمريكية في استخدام مادة" ميثيل ثلاثي البيوتيل إيثر"، وبحلول نهاية التسعينيات لتحسين رقم الأوكتان، ووصل الإنتاج العالمي من هذه المادة إلى نحو 18 مليون طن. وفي العقد الأول من القرن الحادي والعشرين أصبحت المياه الجوفية الملوثة بمركبات الميثيل ثلاثي البيوتيل الإيثر مشكلة في الولايات المتحدة الأمريكية، بسبب التسرب من بين الشقوق الصغيرة في صهاريج التخزين تحت الأرض في محطات الخدمة، مما أدي إلى عدم إمكانية استخدام المياه بغرض الشرب بسبب الرائحة والطعم.

حظرت ولاية كاليفورنيا استخدام مادة الميثيل ثلاثي البيوتيل إيثر في عام 2002 وتوقفت شركات البترول عن إضافتها، وتوجه منتجو الغازولين في الولايات المتحدة إلى إضافة الإيثانول الحيوي المنتج من الذرة، بدلاً من الإيثانول الاصطناعي، مما أدى إلى ارتفاع إنتاج الإيثانول الحيوي من الذرة خلال الفترة 2005 -2010، حيث وصل إلى حوالي 25 مليون طن، وبهذا فقدت صناعة البتروكيماويات مستهلكًا رئيسيًا لمنتجاتها (69-72).

4.2.4. مشكلات التلوث الناتجة عن المنظفات الصناعية

سارعت بحوث التطوير في كل من شركات إنتاج المنظفات الاصطناعية، والبتروكيماويات لحل مشكلات تلوث الأنهار الناتجة عن استخدام المنظفات الصناعية. حيث تم التوصل إلى إنتاج مواد جديدة خافضة للتوتر السطحي، وهي " حمض ألكيل بنزين سلفونيك " التي تحتوي على سلسلة مستقيمة من مجموعات الألكيل. كما تم تطوير تقنيات مختلفة لإنتاج الألفا أوليفينات ذات السلسلة المستقيمة، واستخدامها في إنتاج المنظفات الصناعية، مما ساهم

في حل مشكلات تلوث الأنهار بالرغاوى. يبين الشكل (35) تلوث الأنهار في الهند برغاوي المنظفات الصناعية.

الشكل (35): تلوث الأنهار في الهند برغاوي المنظفات الصناعية

المصدر: https://www.indiawaterportal.org/articles/deadly-chemicals-detergents-end-rivers

5.2.4. النفايات البلاستيكية

أصبحت مشكلة النفايات البلاستيكية مشكلة خطيرة، بسبب التوسع في استخدام منتجات البلاستيك ذات الاستخدام الواحد، وأصبح من الصعب تحديد كميات ومصادر النفايات البلاستيكية المتسربة إلى المحيطات، إلا أن بعض التقديرات العالمية تشير إلى أنه تم إنتاج نحو 8.3 مليار طن من منتجات البلاستيك المختلفة منذ بداية الإنتاج في خمسينيات القرن الماضي حتى عام 2019، نتج عنها ما يقرب من حوالي 6.3 مليار طن من النفايات البلاستيكية. يبين الشكل (36) التلوث البيئي الناتج عن النفايات البلاستيكية.

الشكل (36): التلوث البيئي الناتج عن النفايات البلاستيكية

بدأ ظهور هذه المشكلة مع بدء البحث عن طرق آمنه للتخلص من تلك النفايات، وعملت الدول على مواجهة هذه المشكلات البيئية، حيث تأسست في اليابان في عام 1971 جمعية أبحاث إدارة البلاستيك " أعيد تنظيمها في العام التالي لتصبح معهد إدارة النفايات البلاستيكية" وبدأت المبادرات طويلة الأجل لمعالجة النفايات البلاستيكية من حيث إمكانية إعادة تدويرها. استمر حجم نفايات البلاستيك في الزيادة في اليابان حتى بلغ ذروته في عام 2000، واتبع ذلك هبوطاً تدريجياً منذ ذلك الحين حتى الآن، كنتيجة للجهود الحثيثة التي تمت على مدار 40 عام.

كانت معظم النفايات يتم دفنها في المكبات الأرضية، أو يتم حرقها في فترة السبعينيات. ومع بداية القرن الواحد والعشرين أصبحت إعادة التدوير الحراري في محارق النفايات البلدية هي طريقة المعالجة الأولية. كما تم تحقيق خطوات كبيرة في الاستفادة من النفايات البلاستيكية بالتعاون مع صناعات آخرى، بما في ذلك صناعات الأسمنت والصلب. كان معدل الاستفادة من النفايات البلاستيكية حوالي 48٪ في عام 2000، قفزت هذه النسبة إلى

88٪بحلول عام 2013. على الرغم من ذلك، تستمر المشكلة في النمو في جميع أنحاء العالم ولا تزال تمثل تحديًا كبيرًا.

هناك العديد من المشاكل البيئية المرتبطة بإدارة النفايات البلاستيكية، والتخلص غير السليم منها، وتعد الطرق التقليدية سواءً بطرق الترميد، والطمر أرخص بكثير من تكاليف إعادة تدوير النفايات البلاستيكية، ولكن التكلفة ليست المحدد الوحيد. حيث يمكن أن تتسبب حرق النفايات في تلوث الهواء، والمياه الجوفية إذا لم يتم تصميم المحارق وصيانتها بشكل صحيح. ويعد طمر النفايات من مصادر التلوث الرئيسية للهواء، حيث تشير التقديرات إلى أن حوالي 11٪ من انبعاثات غاز الميثان العالمية تنتج من مواقع طمر النفايات.

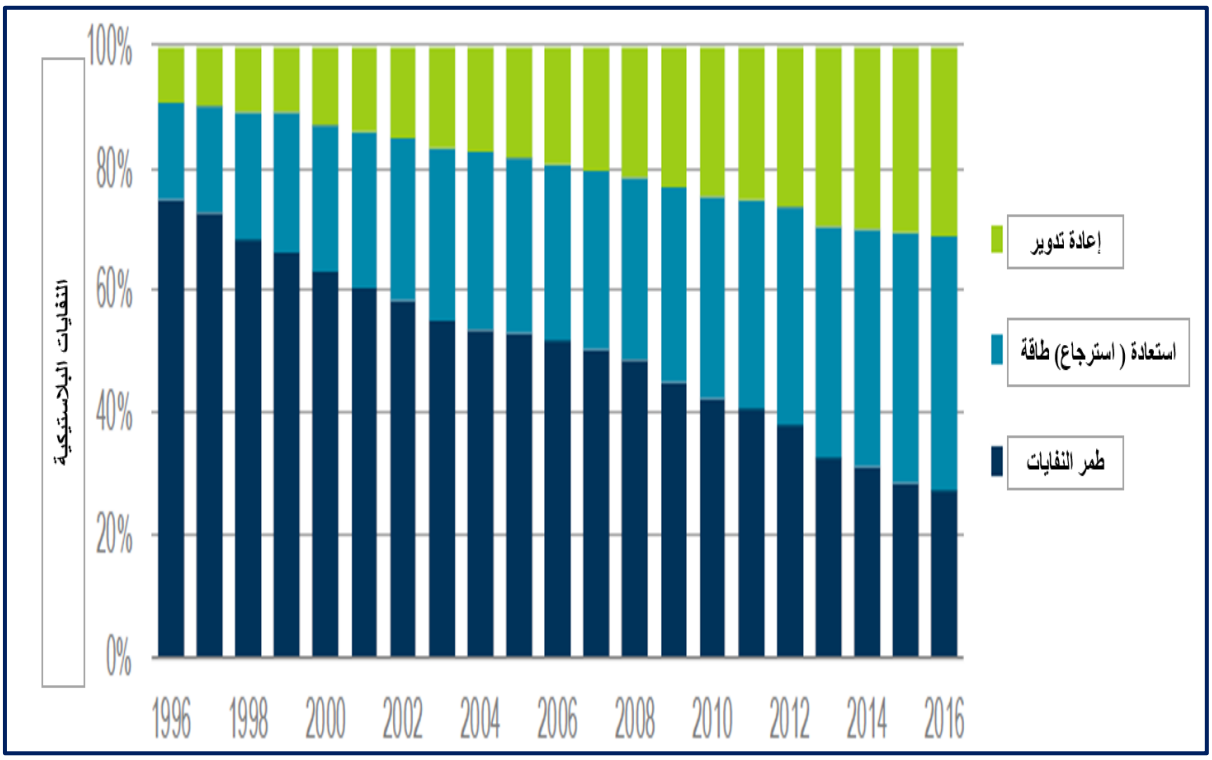
تحتوي العديد من الراتنجات على كمية طاقة تكافئ تلك الموجودة في النفط الخام لكل وحدة كتلة. وعلى الرغم من أن حرق النفايات يقلل حجمها بنسبة 90٪ تقريبًا، مما يقلل من مساحة الأرض المطلوبة كمواقع لطمر النفايات، إلا أنه ينتج انبعاثات ملوثة من غاز ثاني أكسيد الكربون، ويعد إهدار لمصدر محتمل للطاقة. وبشكل عام يجب تجنب حرق النفايات البلاستيكية دون استرداد الطاقة منها.

معدلات إعادة التدوير النفايات البلاستيكية منخفضة مقارنة بمعدلات تدوير النفايات الأخرى. حيث يتم جمع أقل من 20٪ من نفايات البلاستيك لإعادة التدوير، بينما تبلغ معدلات تدوير الصلب حوالي 80 %، ومعدلات تدوير الورق حوالي 60٪. يشير هذا إلى أن الإدارة السليمة للنفايات البلاستيكية والجهود المعززة لتحسين إعادة التدوير هي شرط مسبق وأساسي لاستخدامها كبدائل لها تأثير إيجابي على البيئة بشكل عام.

تم إحراز تقدم في هذا الاتجاه في دول معينة حول العالم، وزادت نسبة إعادة تدوير البلاستيك واستعادة الطاقة من النفايات البلاستيكية في أوروبا بشكل مطرد بحوالي 6٪ سنويًا خلال العقد الماضي، وفي عام 2016، تجاوزت معدلات إعادة التدوير، معدلات طمر النفايات

البلاستيكية في مكبات القمامة لأول مرة. يبين الشكل (37) إدارة النفايات البلاستيكية في دول أوروبا.

الشكل (37): إدارة النفايات البلاستيكية في دول أوروبا



المصدر: Plastics Europe (2017) , *Plastics – the Facts 2017*, www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf.

يمكن الاعتماد كذلك على الطرق المبتكرة لحل مشكلات التخلص الآمن من النفايات البلاستيكية وغيرها من المبادرات العلمية، في هذا الصدد اكتشف الباحثون إنزيمًا طبيعياً تطور في مكبات القمامة في اليابان في عام 2016، ويُطلق عليه الآن اسم "PETase "، له القدرة على تحلل نفايات بلاستيك البولي إيثيلين تيرفيثالات (65-68).

3.4. تحديات نمو الطلب على المياه في إنتاج البتروكيماويات الأولية

تستخدم المياه بشكل أساسي في جميع مراحل إنتاج الوقود الأحفوري، بدءاً من الاستخراج، والنقل، والمعالجة، والإنتاج. كما تستخدم المياه في أغراض متنوعة في مختلف العمليات الصناعية في وحدات الإنتاج والمعالجة، وإنتاج البخار، اللازم لإنتاج البتروكيماويات. ويمكن أن تؤدي الزيادة السكانية والنمو الاقتصادي وما يرتبط بها من ارتفاع في الطلب على المياه، بجانب عدم اليقين بشأن تأثير تغير المناخ على الموارد المائية، إلى تقييد استخدامات المياه في المستقبل.

تشكل كمية المياه الطبيعية العذبة الصالحة للاستخدام حوالي 2.5٪ فقط من إجمالي موارد المياه العالمية، وتصل نسبة المتاح منها للاستهلاك الأدمي أقل من 1٪. ومع ذلك، لا تؤثر الكمية فقط على توافر كميات المياه فحسب، بل إن جودة المياه مهمة أيضًا. في حين أن المياه الصالحة للشرب ليست ضرورية لجميع الأغراض، فإن عمليات معالجة المياه قد تكون مكلفة وتستهلك الكثير من الطاقة عند الضرورة. ومع ذلك، في بعض المناطق التي تعاني من ندرة المياه، فقد تتوفر المصادر البديلة غير العذبة، مثل مياه الصرف الصحي، أو المياه قليلة الملوحة، أو مياه البحر، لتلبية نمو الطلب المتزايد على المياه واستخداماتها. ويتم تقييم استخدام المياه بشكل عام بواسطة مقياسين هما السحب، والاستهلاك. يمثل السحب حجم المياه المسحوبة من المصدر، بينما يعتبر الاستهلاك هو حجم المياه التي سحبت ولم تتم إعادتها إلى المصدر مرة أخرى (أي تبخرت أو نقلت إلى موقع آخر) ولم تعد متاحاً، وتكون عمليات السحب دائمًا أكبر من أو تساوي الاستهلاك، وتمثل المعيار الأول عند تقييد، وتقييم مدى توافر المياه [54].

يمثل قطاعا الصناعة والطاقة معاً حوالي 20٪ من عمليات سحب المياه العالمية وحوالي 12٪ من الاستهلاك العالمي (وكالة الطاقة الدولية، 2016). تمثل كميات المياه المستخدمة في إنتاج البتروكيماويات الأولية حوالي 1٪ من كميات المياه المسحوبة، و4 ٪ من كميات المياه

المستهلكة في الصناعة. تشمل تقديرات الطلب المباشر على المياه لإنتاج البتروكيماويات الأولية استخدامات المياه لإنتاج البخار اللازم في عمليات التكسير بالبخار.

تعد الأمونيا من الأكثر المنتجات استهلاكاً للمياه من بين المنتجات الكيميائية الأولية، حيث تبلغ معدلات استهلاكاتها من المياه نحو 1.3 ($م^3$/ طن)، تليها المنتجات البتروكيماوية عالية القيمة والتي تستهلك حوالي 0.8 $م^3$/ طن، ثم الميثانول الذي يستهلك حوالي 0.6 $م^3$/ طن. في حين أن المخاطر على المناطق التي تعاني من ندرة المياه واضحة، إلا أن المناطق التي لديها موارد مائية وفيرة قد تواجه قيوداً تتعلق بالجفاف، والتغيرات الموسمية، وتغير المناخ، والفيضانات، وتلوث المياه، واللوائح والتشريعات المنظمة (55-60).

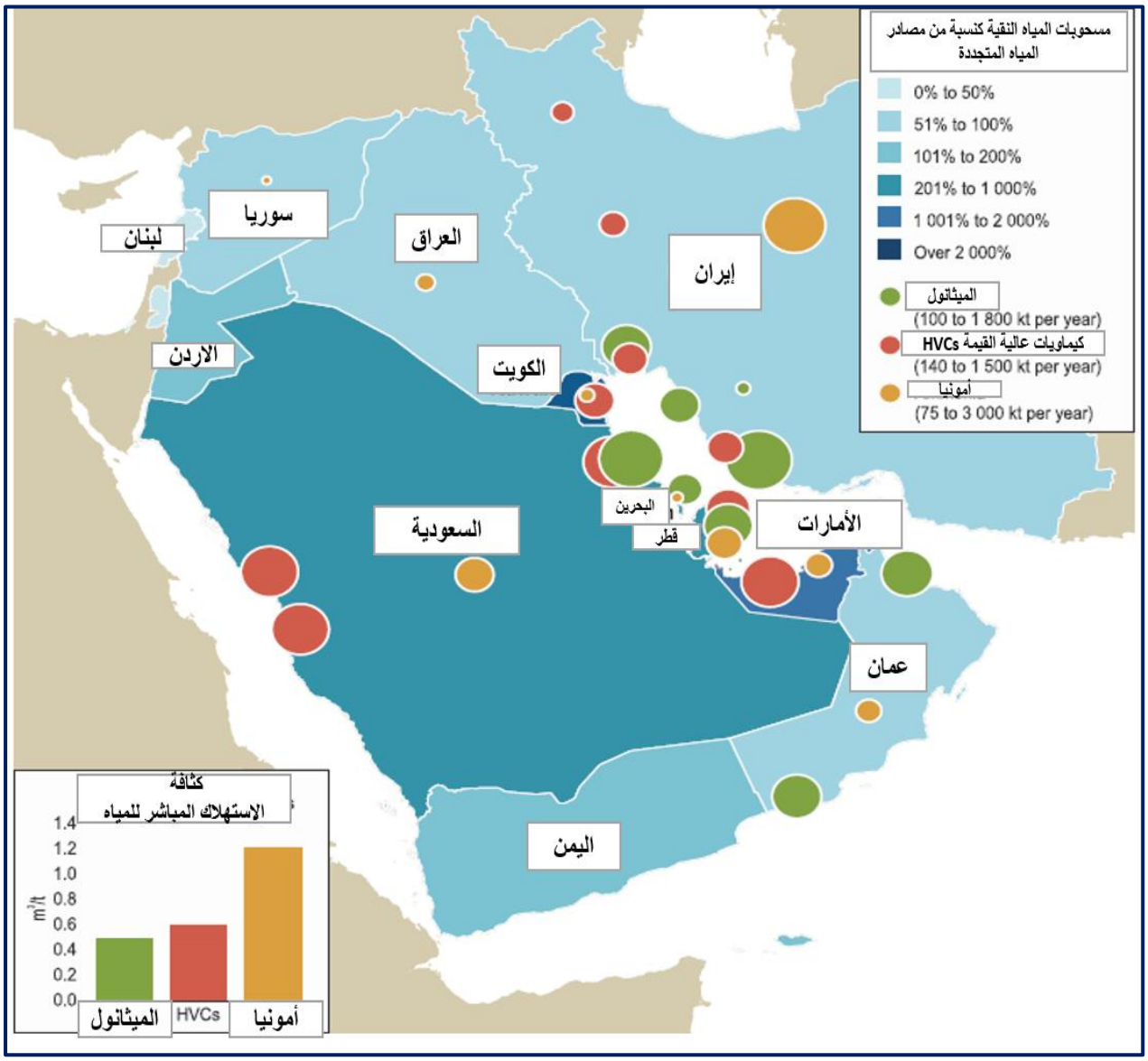
تمثل دول منطقة آسيا والمحيط الهادئ حوالي 50 % من إجمالي عمليات سحب المياه واستهلاكها في إنتاج المواد الكيميائية الأولية على مستوى العالم. وتمثل الصين وحدها حوالي 80٪ من عمليات سحب المياه في منطقة آسيا والمحيط الهادئ، نظراً لاعتمادها على تقنيات استخدام الفحم في إنتاج الطاقة. تستخدم هذه التقنيات طرق تبريد تعتمد على تقنيات التبريد المفتوح والتي تستخدم المياه لمرة واحدة فقط. وعلى الرغم من أن هذه التقنيات أكثر كفاءة، وذات تكاليف رأسمالية منخفضة مقارنة بطرق التبريد بالأبراج الرطبة، أو بطرق التبريد الجاف، إلا أنها تتطلب معدلات مرتفعة لسحب المياه.

كما ساهم زيادة الطلب على كميات الفحم المستخدم كمادة خام أولية لإنتاج المواد الكيميائية الأولية وخاصةً الميثانول والأمونيا في الصين من ارتفاع عمليات سحب المياه، بينما يشكل استخدام المياه بشكل مباشر في إنتاج المواد الكيميائية الأولية في أمريكا الشمالية نسبة أقل من 30٪ مقارنة بأوروبا، نظراً لأن أوروبا تنتج الأمونيا بكميات أكبر نسبياً (55-60).

ومن جانب آخر تقع غالبية الطاقة الإنتاجية للمواد الكيميائية الأولية في الشرق الأوسط في منطقة الخليج العربي، وتعاني معظم دول الخليج العربي من الإجهاد المائي، حيث تشكل

ندرة المياه مصدر قلق كبير. وقد يتسبب ارتفاع الطلب على المياه، في زيادة تكلفة إنتاج المواد الكيميائية الأولية اعتماداً على المنطقة وعلى أشكال إمدادات المياه كثيفة الاستهلاك للطاقة مثل تحلية المياه. يبين الشكل (38) الطاقة الإنتاجية من المواد الكيميائية الأولية، والإجهاد المائي في دول الشرق الأوسط [55-60].

الشكل (38): الطاقات الإنتاجية من المواد الكيميائية الأولية، والإجهاد المائي في الشرق الأوسط



المصدر: The future of petrochemicals

* يمثل الاستهلاك المباشر للمياه متوسط الاستهلاك المباشر للمياه في دول منطقة الشرق الأوسط. وتشمل كميات المياه المستخدمة لإنتاج البخار الازم لعمليات التكسير بالبخار، بينما تم استبعاد كميات المياه المستخدمة في عمليات التسخين. تم عرض تمثيل مصانع إنتاج الأمونيا لـــكل بلد ككل نظراً لعدم توفر مواقع محددة للمصانع المختلفة.

الفصل الخامس

الاتجاهات الحديثة في تكنولوجيا إنتاج البتروكيماويات

الفصل الخامس

الاتجاهات الحديثة

في تكنولوجيات إنتاج البتروكيماويات

5. تمهيد

تلعب التكنولوجيات الحديثة دوراً هاماً في تطور الصناعة البترولية على طول سلسلة القيمة، بدءاً من توفير اللقيم/ المادة الخام الأولية مروراً بإنتاج المواد الوسيطة، وصولاً إلى المنتجات النهائية. ساهمت تكنولوجيا التشقيق الهيدروليكي مؤخراً في خفض تكلفة إنتاج الغاز الطبيعي بشكل كبير من مصادره غير التقليدية (غاز السجيل / الغاز الصخري) وخاصة في منطقة أمريكا الشمالية لتتوفر كميات كبيرة منه، مما أدى إلى التوجه نحو التوسع في صناعة البتروكيماويات اعتماداً على استخدام عمليات التكسير البخاري للغاز (الإيثان) لإنتاج الإيثيلين وإضافة طاقات إنتاجية جديدة في دول أمريكا الشمالية. كما أنه من المتوقع أن تحدث تكنولوجيا تحويل النفط الخام مباشرةً إلى كيماويات تغييرات جوهرية في أسواق البتروكيماويات العالمية خلال السنوات القليلة القادمة.

وهناك العديد من التكنولوجيات تحت البحث والتطوير المستمر والتي من المتوقع أن تكون حلول واعدة لتحديات توفير اللقيم المناسب لصناعة البتروكيماويات بأسعار تنافسية، في ظل نمو الطلب العالمي المتزايد على منتجاتها. ستظل منتجات البولي إيثيلين، والبولي بروبيلين هي المحرك الرئيسي لنمو الطلب على البتروكيماويات مرتفعة القيمة على المدى القصير، حيث تمثل نسبتهما حوالي 75% من إجمالي الطلب على البتروكيماويات. من جانب آخر يستمر نمو الطلب على منتجات العطريات من البنزين العطري، والتولوين، والزايلين المختلط لإنتاج مجموعة واسعة من المنتجات النهائية من البلاستيك، والمواد الأخرى.

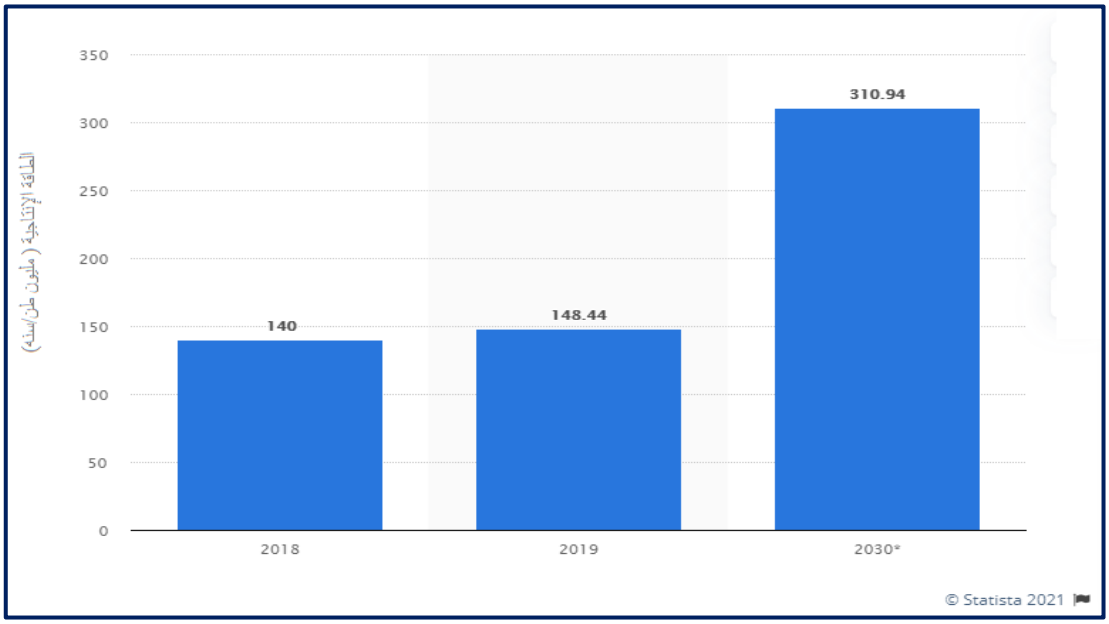
1.5. تكنولوجيا تحويل الميثانول إلى أوليفينات MTO

تم تطوير تكنولوجيا تحويل الميثانول إلى أوليفينات في فترة الثمانينيات والتسعينيات من القرن الماضي عندما توصلت شركة "UOP" بالاشتراك مع شركة "Norsk Hydro" النرويجية إلى تكنولوجيا جديدة لتحويل الميثانول إلى منتجات بتروكيماوية مرتفعة القيمة. ومن المتوقع أن تتساوى تكلفة إنتاج الأوليفينات بهذه التكنولوجيا المبتكرة الجديدة مع تكلفة إنتاج الأوليفينات بتكنولوجيا التكسير البخاري لغاز الإيثان.

في حالة ثبوت الجدوى الاقتصادية لهذه التكنولوجيا، ينتظر التوسع في إنشاء وحدات جديدة لإنتاج الميثانول في العديد من الدول التي تمتلك وفرة من الموارد الطبيعية من غاز الميثان، وتصديره بتكلفة أقل من تكلفة نقل الغاز الطبيعي أو الغازات البترولية المسالة لإنتاج البتروكيماويات. تتركز حاليا جميع الطاقات الإنتاجية لمشروعات تحويل الميثانول إلى أوليفينات في الصين، اعتمادا على الفحم كمادة خام أولية منخفضة القيمة الاقتصادية والتي تمتلك منه كميات ضخمة.

يذكر أن إنتاج الميثانول من مصادرة المختلفة " الغاز أو الفحم" يعد الأعلى إنتاجاً من بين منتجات البتروكيماويات الأولية " الأمونيا، والميثانول، والكيماويات عالية القيمة"، ومن المتوقع زيادة إنتاجه بحلول عام 2030 بأكثر من 50 % عن معدلات إنتاجه في عام 2019 والتي بلغت نحو 184 مليون طن سنوياً، ومن المحتمل أن تتضاعف كميات إنتاجه بحلول عام2030. يبين الشكل (39) إجمالي الطاقة الإنتاجية العالمية للميثانول خلال الفترة 2018 - 2030.

الشكل (39): إجمالي الطاقة الإنتاجية العالمية للميثانول خلال الفترة 2018 -2030



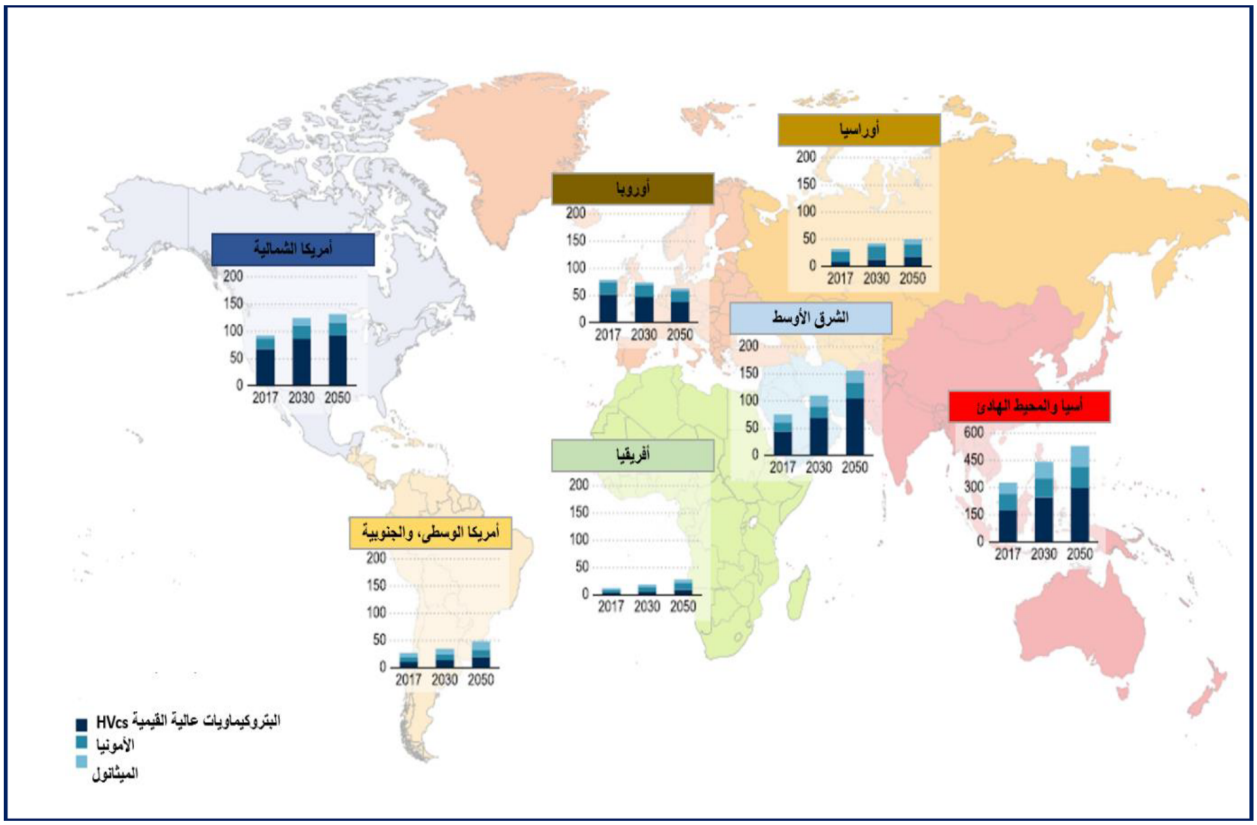
يعزى ارتفاع معدلات نمو الطلب على الميثانول إلى استخدامه في مجالات متعددة مثل خلطه مع الوقود من أجل تحسين أداء احتراقه وخفض نسب الانبعاثات الملوثة للهواء، حيث يستهلك قطاع النقل العالمي حوالي 35-40 % من إجمالي الطلب على الميثانول. كما يستخدم الميثانول أيضاً في إنتاج مادة "ثنائي ميثيل إيثر-DME" والتي يمكن مزجها كبديل للبروبان مع غاز البترول المسال (LPG). أما المجال الآخر لاستخدام الميثانول فهو استخدامه كمادة وسيطة لإنتاج عدد من المنتجات الكيماوية عالية القيمة (HVCs)، والتي من المتوقع أن ينمو الطلب عليها بنحو 60٪ بحلول عام 2050 مقارنة بعام 2017، وهو ثاني أسرع معدل نمو بين المواد الكيميائية الأولية. يستهلك إنتاج المنتجات الكيماوية عالية القيمة بهذه التكنولوجيا حوالي 21 % من إجمالي كميات الميثانول المنتجة على مستوى العالم. كما يستخدم الميثانول في مجال آخر مهم، وهو تحويله إلى عطريات (MTA)، إلا أنه مازال في مرحلة الإنتاج التجريبي Demonstration Phase.

لذا فمن المتوقع أن يلعب الميثانول دوراً بارزاً في إنتاج الكيماويات عالية القيمة، في عدد من دول العالم حال ثبوت الجدوى الاقتصادية للتكنولوجيا الجديدة. ومن المتوقع أن تكون دول منطقة آسيا والمحيط الهادئ هي الدول الرائدة على مستوى العالم في إنتاج البتروكيماويات عالية القيمة خلال الفترة 2017-2050، حيث تخطط هذه الدول إلى زيادة مستويات إنتاجها بأكثر من 75 % خلال هذه الفترة، لترفع حصتها العالمية من إنتاج البتروكيماويات عالية القيمة من 48٪ إلى 51٪ بحلول عام 2050. وتمثل معدلات نمو الطلب على الميثانول حالياً في دول منطقة آسيا والمحيط الهادئ حوالي 75% من إجمالي الطلب العالمي، فيما بلغ حجم الطلب على الميثانول في الصين فقط حوالي 50 % من إجمالي حجم الطلب العالمي في عام 2017، ومن المتوقع ثبات هذه النسبة حتى عام 2050.

من المتوقع أيضاً أن يصل إنتاج دول أمريكا الشمالية، والوسطى، والجنوبية من البتروكيماويات مرتفعة القيمة إلى ما يقرب من 115 مليون طن سنوياً بحلول عام 2050. وعلى الرغم من أن حصة دول منطقة أمريكا الشمالية حالياً من إنتاج الميثانول تمثل نسبة صغيرة نسبياً على مستوى العالم، إلا أنه من المتوقع أن تسجل أسرع معدلات للنمو بحلول عام 2050، ليرتفع إنتاج الميثانول بها بمقدار ثلاث مرات تقريباً.

من جانب آخر من المتوقع أن ترفع دول منطقة أفريقيا حجم إنتاجها من الميثانول بنحو ثلاث مرات عن معدلاتها الحالية، وأن تضاعف دول منطقة الشرق الأوسط، وخاصة الدول العربية في منطقة الخليج العربي إنتاجها بحلول عام 2050، لتشكل التكنولوجيا الجديدة مصدر آخر محتمل لإنتاج الكيماويات عالية القيمة في تلك الدول. يبين الشكل (40) إنتاج المناطق الرئيسية في العالم من الميثانول، والبتروكيماويات عالية القيمة، والأمونيا حتى عام 2050.

الشكل (40): إنتاج المناطق الرئيسية في العالم من الميثانول، والبتروكيماويات عالية القيمة، والأمونيا حتى عام 2050



المصدر https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/the_future_of_petrochemicals.pdf

2.5. التحول إلى إنتاج البوليمرات " اللدائن " الهندسية

أنتجت البوليمرات "اللدائن" الهندسية تجاريا خلال فترة الخمسينيات والستينيات من القرن الماضي في صورة منتجات البولي كربونات، والبولي أميد (نايلون، ألياف زجاجية PET، ومنتجات أخرى)، لكنها لم تحظ باهتمام كبير، نظراً للنمو المتنامي السريع على البلاستيك المستخدم في إنتاج السلع الاستهلاكية العامة خلال تلك الفترة. وظهرت اللدائن الهندسية مره أخرى مع بداية الإنتاج التجاري لمنتجات البولي أسيتال، والبولي فينلين إيثر المعدل Modified Polyphenylene Ether، في الفترة من أواخر الستينيات حتى السبعينيات لتستخدم بشكل سريع في إنتاج السلع الاستهلاكية ذات الأغراض العامة، وسرعان ما أصبحت اللدائن الهندسية المستخدمة في الأغراض العامة بداية الانطلاق للتوسع اللاحق في استخدامها في مجالات تغذية قطاعات صناعة السيارات، والإلكترونيات. ظهرت بعد ذلك أنواع أخرى من البوليمرات الهندسية منخفضة التكلفة مثل البولي يوريثان، والبولي استر غير المشبع المقوى بالألياف الزجاجية، وراتنجات الإيبوكسي.

ساهم بشكل مباشر ارتفاع أسعار النفط في فترة السبعينيات من القرن الماضي في زيادة الطلب على السيارات ذات الكفاءة العالية في خفض معدلات استهلاك الوقود. وكانت إحدى طرق تحسين كفاءة استهلاك الوقود وخفض نسب استخداماته هي خفض أوزان السيارة. كما شهدت أسواق الأجهزة الكهربائية نموا متزايداً في الطلب على الأجهزة المنزلية. ساهم إنتاج اللدائن الهندسية والتي تتميز بخفة الوزن ومقاومة درجات الحرارة المرتفعة، في تلبية متطلبات كل من قطاع السيارات، وقطاع الأجهزة الكهربائية الجديدة.

اعتمد قطاع السيارات بدرجة كبيرة على اللدائن الهندسية منخفضة التكلفة من البولي بروبيلين المعالج، والذي يمتاز بخواص المقاومة الفائقة للصدمات، والخواص الميكانيكية الأخرى، فأصبح هو المصدر الرئيسي لتلبية احتياجات قطاع السيارات من الأجزاء الكبيرة المقولبة مثل المصدات. كما تم التوسع في إنتاج البوليمرات الهندسية الفائقة " Super

Engineering Plastics" في فترة الثمانينيات من القرن الماضي، مثل منتجات البولي أميد، ومنتجات البولي إيثر كيتون "PEEK"، ومنتجات البولي إيثر سالفون"PES"، والتي تميزت بقدرتها على تحمل درجات حرارة أعلى من 150°م، مما ساهم في مزيد من التوسع في استخداماتها في مجال صناعة الأجهزة والإلكترونيات.

3.5. تكنولوجيا إنتاج المونيومرات مباشرة من البارافينات

اعتمدت صناعة البتروكيماويات منذ نشأتها على كيمياء الهيدروكربونات غير المشبعة "مزدوجة الرابطة" كالأوليفينات، والعطريات. أما الهيدروكربونات المشبعة "أحادية الرابطة كالبارافينات"، فلها تفاعلات ضعيفة وتطبيقات محدودة للغاية في مجال إنتاج الأوليفينات، ويعد غاز الميثان أبسط أنواع البارافينات. على الرغم من أن غاز الميثان يعد مادة خام أولية يمكن استخدامها لإنتاج الوقود والمواد الكيميائية، إلا أنه يستخدم بشكل رئيسي كوقود لتوليد الطاقة وللاستخدام المنزلي والصناعي، ويعد وقوداً مثالياً لهذه الأغراض نظراً لتوفره، وسهولة تنقيته لإزالة مركبات الكبريت.

يعد غاز الميثان مورد غير مستغل إلى حد كبير في إنتاج الكيماويات والوقود السائل. ولاتزال تكنولوجيات إنتاج الأوليفينات الخفيفة مباشرة من الميثان "Methane-to-Olefins" تحت التطوير المستمر. ومن المتوقع أن تسهم التكنولوجيات الجديدة حال اعتمادها على مستوى الإنتاج التجاري من تغير مشهد صناعة البتروكيماوية التقليدية الذي يعتمد على الأوليفينات والعطريات كمواد خام أولية لازمة للصناعة.

4.5. تكنولوجيا إنتاج محفزات الميتالوسين

شهد مجال إنتاج البولي أوليفينات ظهور محفزات "الميتالوسين" في الثمانينيات من القرن الماضي، والتي جذبت الانتباه بفضل أدائها المتفوق للغاية مقارنة بمحفزات "زيغلر- ناتا"

التقليدية. تم استخدام محفزات الميتالوسين الجديدة لأول مرة في انتاج البولي إيثيلين الميتالوسين، ومع ذلك لم تتمكن المحفزات الجديدة من إحداث تأثير عميق في سوق البتروكيماويات بالطريقة التي أحدثتها محفزات زيغلر – ناتا في الخمسينيات، وما نتج عنه عند انتاج البولي إيثيلين الخطي منخفض الكثافة على النطاق التجاري في الثمانينيات. ولم تتمكن التحسينات الجديدة للمحفزات، والابتكارات من إضافة زيادات كبيرة في الإنتاجية [34،33]. ومع ذلك، تم إنفاق نحو 3.5 مليار دولار منذ أواَخر التسعينيات على عمليات البحث والتطوير التقني لإنتاج للجيل الثاني من محفزات جديدة عُرفت باسم محفزات ما بعد الميتالوسين، مثل "محفز ثلاثي ميثيل الأنيلين" والتي تجاوزت محفزات الميتالوسين الأصلية. تعتمد المحفزات الجديدة على مزيج من "الميتالوسين، والميثيل ألومينوكسان"، تستخدم في إنتاج بولي أوليفينات ذات خصائص فائقة. شملت كذلك أنشطة البحث والتطوير للمحفزات الجديدة العمليات التحفيزية الخالية من المذيبات، وتصميم اللدائن الهندسية خفيفة الوزن، وإعادة التدوير، والبصمة الكربونية المنخفضة للبولي أوليفينات. يبين الشكل (41) مراحل البحث العلمي والتطوير لمحفزات الميتالوسين الجديدة حتى مرحلة الإنتاج التجاري.

الشكل (41): مراحل البحث العلمي والتطوير لمحفزات الميتالوسين الجديدة حتى مرحلة الإنتاج التجاري

المصدر: https://www.lyondellbasell.com/globalassets/products-technology/technology/bulk-pp-processes.pdf?id=13745

5.5. تكنولوجيا تحويل النفط الخام إلى كيماويات Crude Oil to Chemicals (COC)

أنشئت مصافي تكرير النفط التقليدية بهدف إنتاج الوقود التقليدي، وتهدف مشروعات البتروكيماويات إلى إنتاج البتروكيماويات فقط، وفي هذه الحالة يكون مفتاح ربحية المصفاة هو مرونة استخدام الخام، بينما مفتاح ربحية مشروعات البتروكيماويات هو مرونة الاستخدام في مواد التغذية الأولية. أما في المشروعات المدمجة لكل من المصافي والبتروكيماويات فإنه يتم تنسيق استخدام المواد الخام الأولية الناتجة من مصافي التكرير لتعظيم إنتاج البتروكيماويات، ويتم دمج وتكامل استخدامات الطاقة، والمرافق المختلفة لزيادة تحسين كفاءة استخدام الطاقة. ومع ذلك، حتى مع عمليات الدمج، فإن المصفاة في هذه الحالة تهدف إلى إنتاج الوقود، بينما يهدف مجمع البتروكيماويات إلى إنتاج منتجات البتروكيماويات.

أما في المشروعات الجديدة لتحويل النفط الخام مباشرةً إلى كيماويات تدمج كل من المصفاة، ومصانع البتروكيماويات في مجمع واحد، وبالتالي تشكل ما هو أبعد من تكامل مجمعات البتروكيماويات الحديثة في مصافي التكرير. وتهدف التكنولوجيا الجديدة إلى تعظيم إنتاج الكيماويات وزيادة القيمة المضافة بتحويل حوالي 40 % من برميل النفط الخام مباشرةً إلى كيماويات، لذا فإنها تعد أهم تطور وشيك يمكن أن يكون له آثار استراتيجية مباشرة على مستقبل صناعة البتروكيماويات العالمية (86).

في هذا الصدد أعلنت عدد من الشركات عن مشروعات ضخمة لتحويل النفط الخام مباشرةً إلى كيماويات أو تم بالفعل البدء فيها، كمشروع شركة "هينجلي" بطاقة 40 ألف برميل يوميا من النفط الخام (20 مليون طن من النفط الخام سنويًا) لإنتاج 4.5 مليون طن من البارازايلين سنويًا، ومنتجات كيميائية أخرى. تصل نسبة تحويل النفط إلى كيماويات حوالي 42 ٪ لكل برميل من النفط. بدأ أيضاً الإنتاج في ثلاثة مشاريع أخرى في الصين لإنتاج البارازايلين، وتتبع هذه المشروعات ثلاثة منتجين رئيسين لمنتجات البولي إيثيلين تيرفيثالات،

وهم شركة "هينجلي" Hengli، وشركة "تشجيانغ" Zhejiang، وشركة "شينغوج" Shenghong [86].

من جانب آخر تسعى شركة "أرامكو" السعودية إلى تطوير التكنولوجيا الجديدة مع شركة "شيفرون لامس جلوبال" Chevron Lummus Global (CLG)، وشركة "سي بي أند أي" CB&I، من أجل تعظيم نسبة تحويل النفط الخام إلى كيماويات في مشروعها الجديد لتصل إلى حوالي 70-80٪ من برميل النفط، ويمثل هذا المشروع تحول استراتيجية شركة نفط كبرى لتتجه نحو الصناعات التحويلية، ولتصبح شركة بتروكيماويات ضخمة. لذا فمن المتوقع أن تحدث تكنولوجيا تحويل النفط الخام إلى كيماويات تغيرات جوهرية في أسواق البتروكيماويات العالمية.

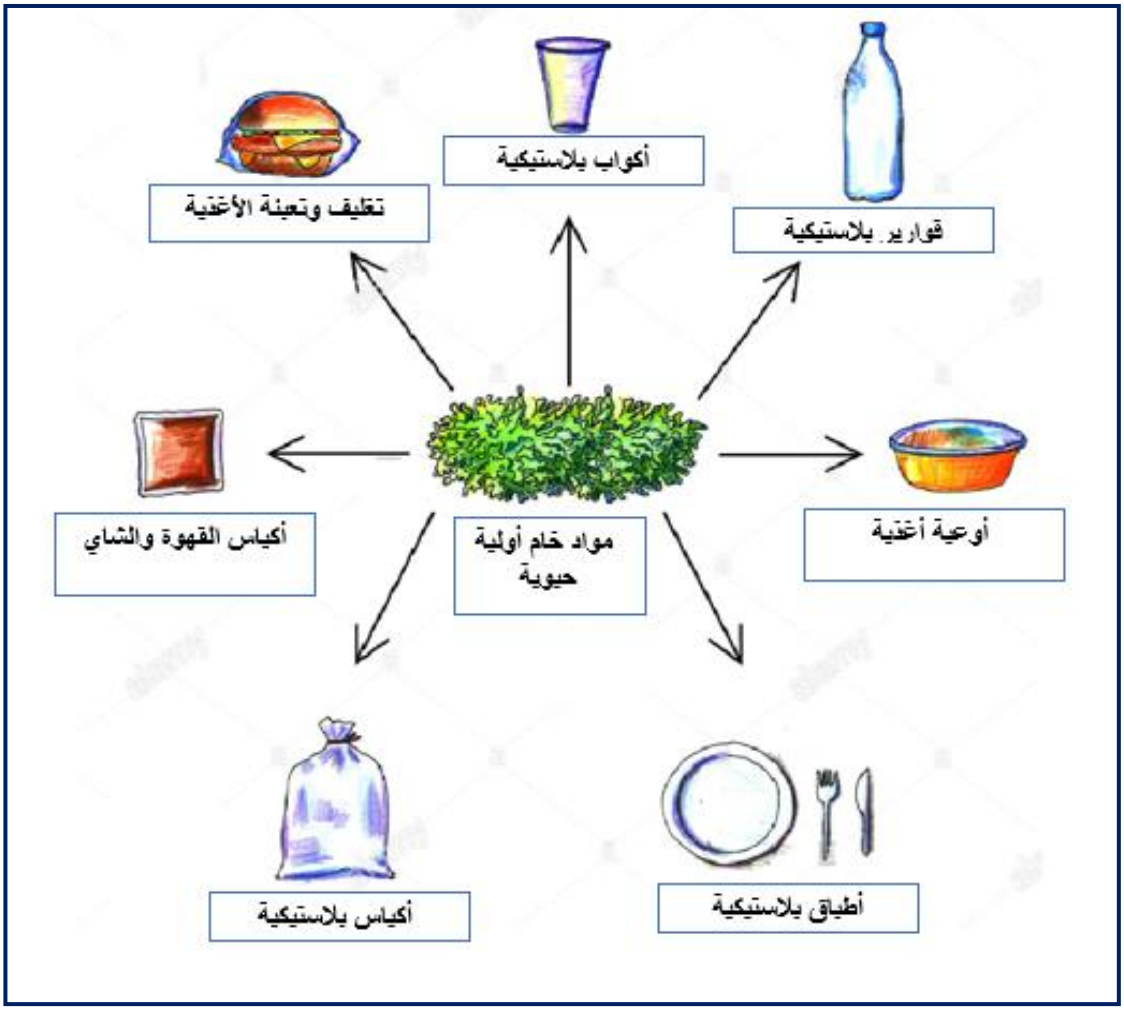
6.5. تكنولوجيا إنتاج البلاستيك الحيوي

من المتوقع أن تساهم تكنولوجيا إنتاج البلاستيك الحيوي في تطوير وإنتاج منتجات متخصصة جديدة لها القدرة على التحلل البيولوجي، والمساهمة في إيجاد حلول تطبيقية لمشكلات تلوث البيئة بالنفايات البلاستيكية التقليدية، خاصة في قطاعات التعبئة والتغليف. تستخدم منتجات عديد حمض اللبنيك أو ما يعرف باسم " متعدد حمض اللاكتيك" PLA، ومنتجات بولي هيدروكسيل الكانوتيس - Polyhydroxy alkanoates، كمواد خام أولية لإنتاج البلاستيك الحيوي.

تتميز أسواق البلاستيك الحيوي بمعدلات نمو عالية ومتوقع نموها بنسبة تصل إلى حوالي 30٪ خلال الفترة 2013 -2030، مقارنةً بمعدلات نمو لسوق البلاستيك التقليدي، والمتوقعة بنسبة 3٪ فقط سنويًا [33]. ومع ذلك، فإنه من الصعب أن يحل البلاستيك الحيوي محل البلاستيك التقليدي بالكامل. وتعد تكاليف الإنتاج من التحديات الرئيسية لنمو سوق البلاستيك الحيوي في الوقت الحاضر، حيث تعتمد تكلفة إنتاج البلاستيك الحيوي على نوع المادة الخام الأولية الحيوية

المستخدمة، والتي تبلغ حالياً نحو 1.5-3 أضعاف تكلفة إنتاج البلاستيك التقليدي. وعلى الرغم من التكلفة المرتفعة نسبياً لإنتاج البلاستيك الحيوي، إلا أنه من المتوقع أن تؤدي التطورات المتسارعة في تكنولوجيا التصنيع إلى خفض التكلفة في المستقبل القريب من خلال استخدام مواد خام أولية حيوية جديدة منخفضة التكلفة، مثل نفايات قش الأرز، وقشر الأرز، ولحاء الأشجار، لتحل محل المواد الخام الأولية الحيوية من شجر الكاسافا، وقصب السكر، والذرة، والمستخدمة حالياً [85]. يبين الشكل (42) نماذج لبعض منتجات البلاستيك الحيوي.

الشكل (42): نماذج لبعض منتجات البلاستيك الحيوي



المصدر: - https://www.alamy.com/bioplastic-products

الفصل السادس

نماذج عالمية في مجال الاستثمار في البحث والتطوير

الفصل السادس

نماذج عالمية في مجال الاستثمار في البحث والتطوير

6. تمهيد

تعد صناعة البتروكيماويات واحدة من أكبر الصناعات العالمية التي تعتمد بشكل كبير ومباشر على نتائج ومخرجات بحوث قطاع البحث والتطوير في الشركات المطورة، خاصة في الاقتصادات المتقدمة. ويمكن أن يكون لمنتجات صناعة البتروكيماويات المبتكرة وعملياتها الإنتاجية تأثيرات مباشرة على زيادة النمو الاقتصادي العالمي ككل.

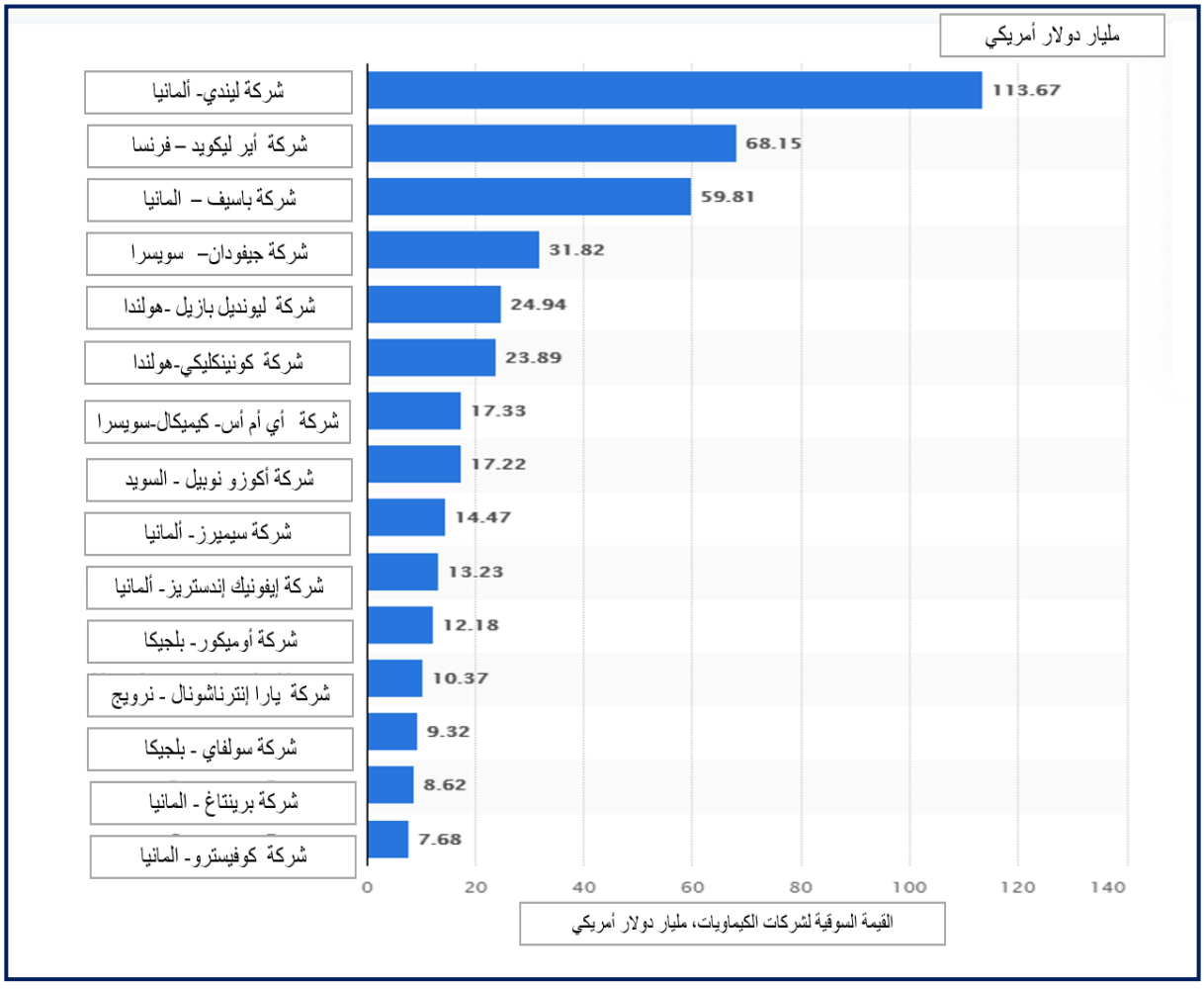
تستثمر شركات البتروكيماويات الرائدة في أوروبا بشكل مكثف في أنشطة البحث العلمي والتطوير لإحداث الابتكار لزيادة الربحية والتغلب على تحديات الصناعة المختلفة. حيث تمثل صناعة الكيماويات الأوروبية حوالي 17.8 ٪ من إجمالي الإنتاج العالمي، وتمد عمليا جميع القطاعات الصناعية والاستهلاكية بمختلف منتجات البتروكيماويات [75].

من أجل تغيير قدرات شـركات البتروكيماويات في الدول العربية نحو الإعداد الأفضـل للبحث والتطوير، فإن هذه الشـركات تحتاج إلى اعتماد أطر عمل شـاملة تبدأ بتحديد أولويات أنشـطة البحث والتطوير بها، مع تحديد التكنولوجيات التي يتم اسـتيرادها من الخارج، وما يمكن تطويرها داخليا في معامل البحث والتطوير بالشـركات من خلال التعاون مع شـركاء الابتكار الدوليين من أجل تطوير المنتجات. كما يجب ترسـيخ ثقافة الابتكار لتحويل تلك الشركات والمؤسسات إلى مؤسسات ابتكارية عالمية المستوى.

1.6. القيمة السوقية لشركات البتروكيماويات في دول أوروبا

توجد معظم شركات الكيماويات الأوروبية في سبع دول من الاتحاد الأوروبي، وهي ألمانيا، وفرنسا، والسويد، وسويسرا، وهولندا، وبلجيكا، والنرويج. وقد سيطرت الشركات الألمانية على قطاع الكيماويات في دول أوروبا. بلغت القيمة السوقية لشركة "ليندي" نحو 113.7 مليار دولار أمريكي، وجاءت شركة الغازات الصناعية الفرنسية "أير ليكويد" في المرتبة الثانية بقيمة سوقية بلغت حوالي 68.15 مليار دولار أمريكي. يبين الشكل (43) القيمة السوقية لشركات الكيماويات الرائدة في أوروبا لعام 2020.

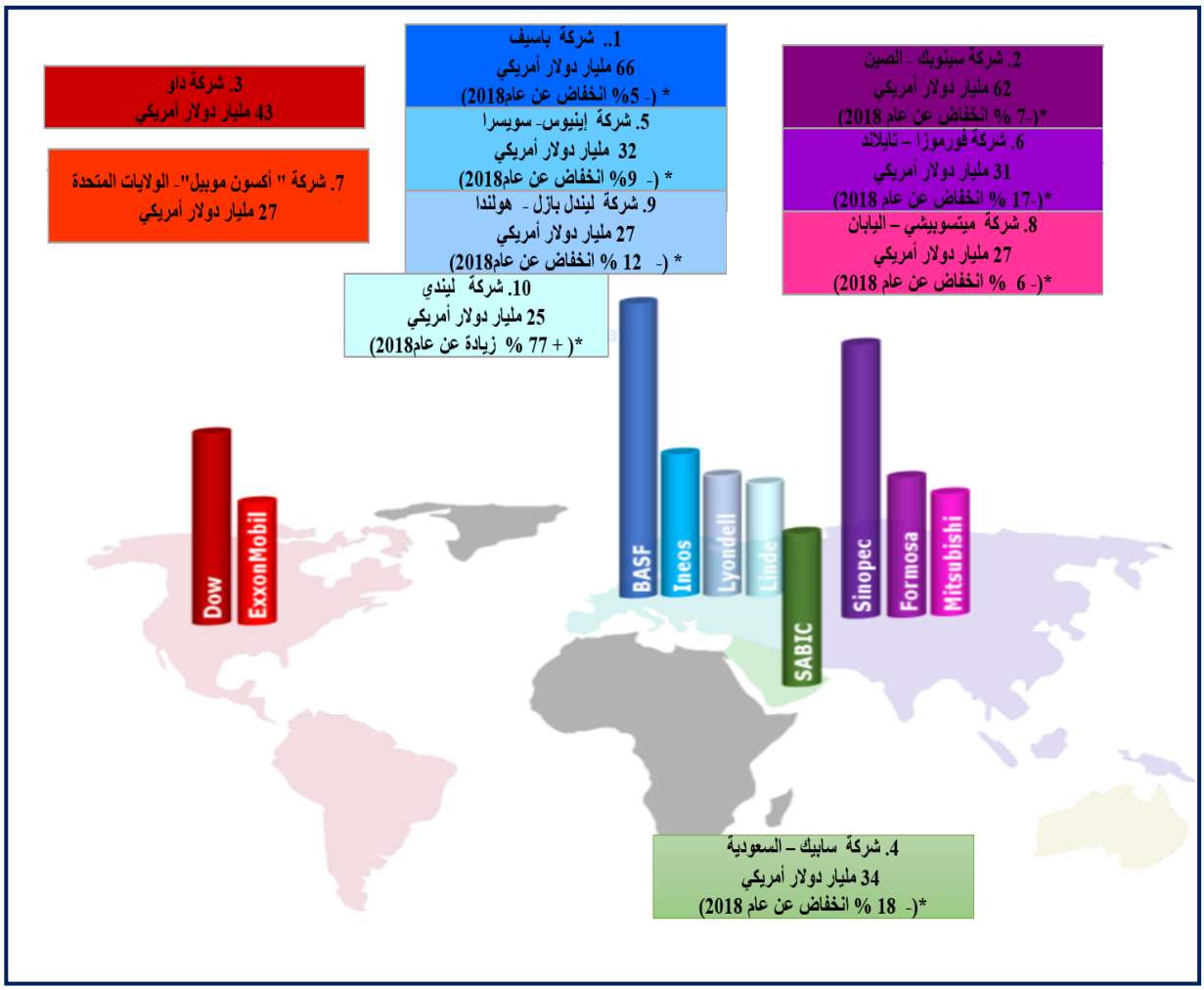
الشكل (43): القيمة السوقية لشركات الكيماويات الرائدة في أوروبا لعام 2020



المصدر: https://www.statista.com/statistics/443118/top-chemical-companies-in-europe-by-market-cap/

من جانب آخر تصدرت شركة " باسف" قائمة الشركات الأعلى مبيعات حول العالم في عام 2019، خاصةً بعد تقسيم شركة "داودوبونت" إلى شركتي " داو"، و "دوبونت"، تلتها شركة "سينوبك" الصينية في المرتبة الثانية، فشركة "داو" في المرتبة الثالثة، وجاءت في المرتبة الرابعة على مستوى العالم شركة "سابك" السعودية على الرغم من انخفاض مبيعاتها بنحو 18 % عن عام 2018، وحلت شركة "ليندي" في المرتبة العاشرة، بعد اندماجها مع شركة براكسير" لتشكلا معاً عملاق للغاز الصناعي. يبين الشكل (44) قائمة شركات الكيماويات الأعلى مبيعات على مستوى العالم لعام 2019.

الشكل (44): قائمة شركات الكيماويات الأعلى مبيعات على مستوى العالم لعام 2019



المصدر: Top ten chemicals companies in 2019

https://www.chemistryviews.org/details/ezine/11241149/Top_Ten_Chemical_Companies_in_2019.htm

تبحث شركة "باسف" باستمرار تقوية أعمالها في مجال البحث العلمي والتطوير على مستوى دول العالم، فنجد أن حوالي 80٪ من نفقاتها في مجال أنشطة البحث العلمي والتطوير، أنفقتها الشركة في أوروبا، ونحو 17٪ في الأمريكيتين، و3٪ في آسيا والمحيط الهادئ. تشارك الشركة أيضاً في تحالفات متخصصة في قطاع الكيماويات، وتتعاون مع أكثر من 1800 تحالف عالمي في 41 دولة مع جامعات ومعاهد بحثية، وشركات ناشئة، وشركاء من الصناعة والعملاء. تضم قائمة أكبر 19 شركة بتروكيماويات حائزة على براءات اختراع، 3 شركات نفطية [90].

أدى تباطؤ النشاط الاقتصادي في عام 2019 إلى انخفاض عائدات معظم شركات البتروكيماويات الكبرى مقارنة بعام 2018. كما تسبب جائحة "كوفيد- 19" في أعمق ركود شهده الاقتصاد العالمي منذ عقود. وهذا يعني أن التوقعات للفترة 2020-2021 غير مؤكدة، ومن المتوقع أن ينخفض الناتج المحلي الإجمالي العالمي، وأحجام مبيعات البتروكيماويات [76].

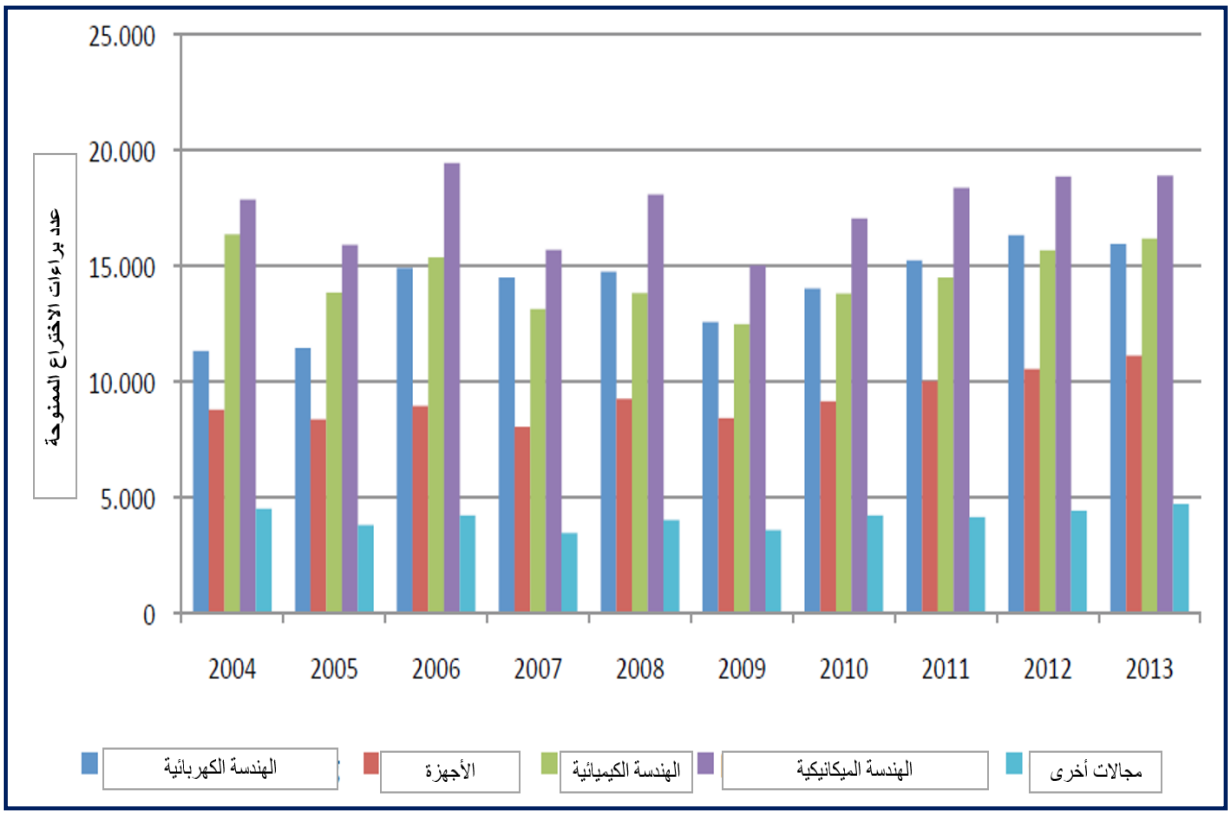
يظهر تحليل بيانات الشركات الرائدة أن محددات ومتغيرات الابتكار تشمل على سبيل المثال كل من براءات الاختراع، وزيادة الاستثمار في أنشطة البحث والتطوير، وإتباع سياسات الاندماج والاستحواذ، وإعادة هيكلة شركات الكيماويات الكبرى، والاعتماد على نتائج أبحاث الشركات الكيماوية الكبيرة المشتركة مع الجامعات والمعاهد، وتأثير الموقع الجغرافي، وتوفير العمالة الماهرة [75].

1.1.6. مؤشرات الابتكار في شركات الكيماويات الرائدة في أوروبا من حيث نشاط براءات الاختراع

تعتبر براءات الاختراع هي أحد الأدوات التي تستخدمها الشركات لجني الدخل من الابتكار. ربما تكون المؤشرات القائمة على براءات الاختراع هي الأكثر استخداماً من بين

المؤشرات القليلة المتوفرة حول مخرجات التكنولوجيا. يبين الشكل (45) مقارنة بين براءات الاختراع الممنوحة للصناعات الكيميائية والصناعات الرائدة الأخرى في أوروبا.

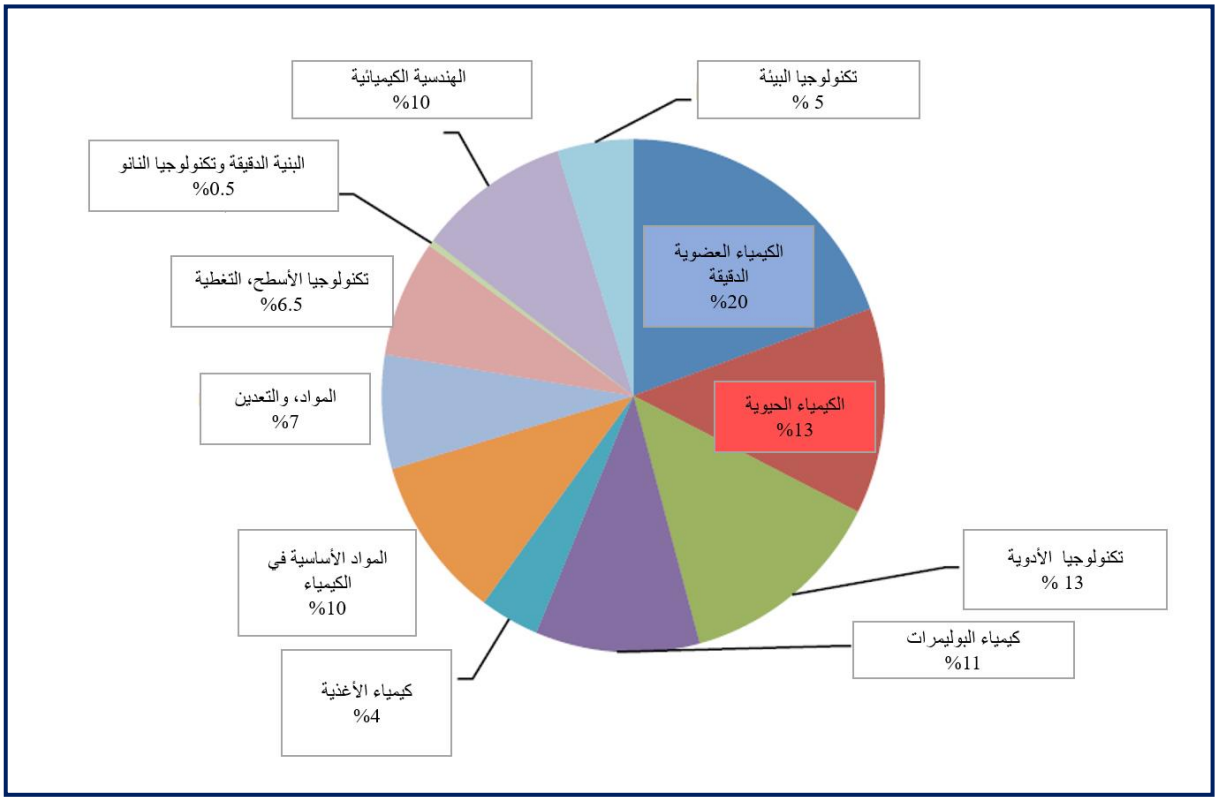
الشكل (45): مقارنة بين براءات الاختراع الممنوحة للصناعات الكيميائية والصناعات الرائدة الأخرى في أوروبا



المصدر: European Patent Office

يوضح الشكل (45) أن براءات الاختراع الممنوحة للهندسة الميكانيكية تمثل أكبر عدد من إجمالي عدد البراءات الممنوحة، بينما تأتي الهندسة الكيميائية، والهندسة الكهربائية في المرتبة الثانية والثالثة. عدد براءات الاختراع الممنوحة للهندسة الكيميائية كان في أدنى مستوى له خلال الأزمة الاقتصادية العالمية في عام 2009، مما أثر بشدة على الصناعة الكيميائية [75]. يتكون قطاع الهندسة الكيميائية من 11 قطاع فرعي. يبين الشكل (46) نسب توزيع إجمالي عدد براءات الاختراع الممنوحة بين مختلف القطاعات الفرعية.

الشكل (46): نسب توزيع إجمالي عدد براءات الاختراع الممنوحة بين مختلف القطاعات الفرعية

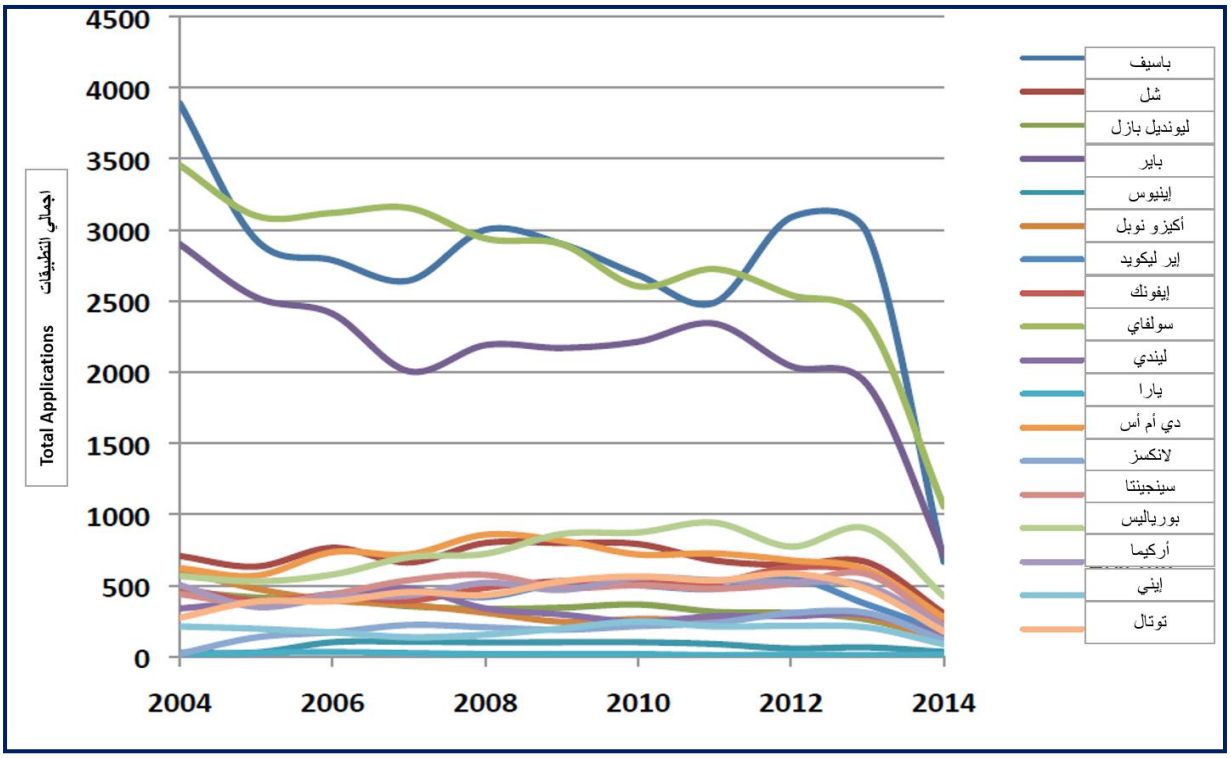


المصدر: European Patent Office

بلغت نسبة براءات الاختراع في قطاع الكيمياء العضوية الدقيقة نحو 20 % من إجمالي براءات اختراع الهندسة الكيميائية، تليها المستحضرات الصيدلانية والدواء بنسبة 13%، والكيمياء الحيوية بنسبة حوالي 13%، بينما بلغت نسبة كيمياء البوليمرات نحو 11 %. من ناحية اَخرى، كانت براءات الاختراع في كيمياء الأغذية، وتكنولوجيا البيئة، وتكنولوجيا النانو منخفضة.

تعد شركات "باسف"، و "باير"، و "ليونديل بازل" في طليعة الشركات الرائدة على مستوى العالم في الحصول على براءات اختراع في مجال الهندسة الكيميائية، وأظهرت شركة "سولفاي" اتجاهًا تصاعديًا، بينما قدمت باقي الشركات تطبيقات أقل بكثير كما يبين الشكل (47).

الشكل (47): اجمالي طلبات براءات الاختراع التي قدمتها شركات الكيماويات الرائدة العالمية إلى هيئات براءات الاختراع في خلال الفترة 2004-2014



المصدر: European Patent Office

بشكل عام كلما زادت أنشطة البحث والتطوير في الشركات، زادت معها احتمالية منح عدد أكبر من براءات الاختراع، والتي يتحكم فيها أيضاً جودة البحث. يستغرق منح براءة الاختراع بضع سنوات، لذلك في بعض الحالات يكون عدد براءات الاختراع الممنوحة في عام معين أعلى من تلك التي تم تقديمة في ذلك العام [75].

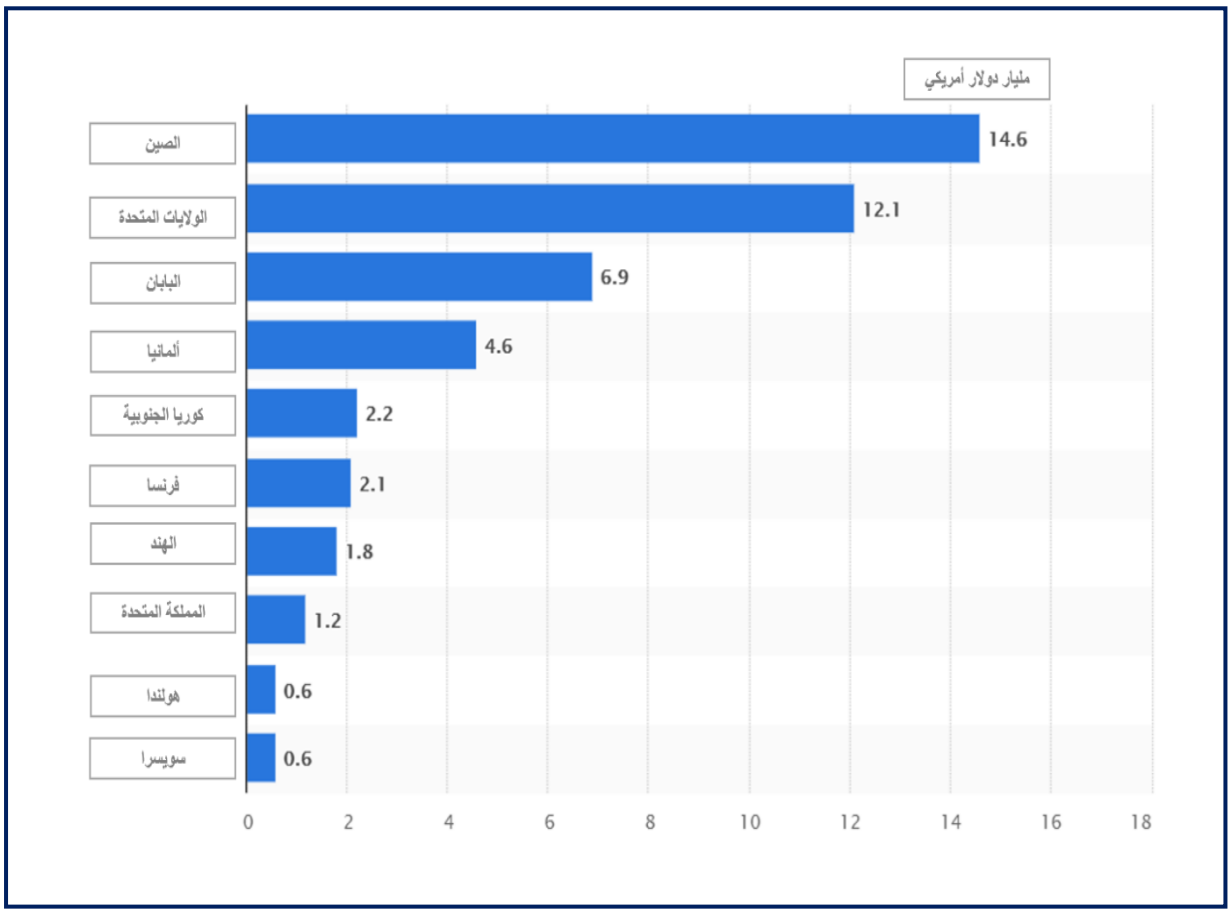
2.6. الاستثمار في أنشطة البحث والتطوير

أدركت الدول المتقدمة أهمية البحث والتطوير في حل مشكلات الصناعة وغيرها من القطاعات الهامة التي تسهم بشكل مباشر في تحقيق التنمية المستدامة. فنجد أن الولايات المتحدة الأمريكية، واليابان، والصين، وماليزيا، ودول الاتحاد الأوروبي أنفقت على البحث والتطوير

حوالي 417 مليار دولار، وهو يتجاوز 75 % من إجمالي الإنفاق العالمي على البحث العلمي [83].

بلغ إنفاق الصين على أنشطة البحث والتطوير في قطاع الكيماويات، والبتروكيماويات في عام 2017 نحو 14.6 مليار دولار. فيما بلغت قيمة الإنفاق في دول أخرى في منطقة آسيا مثل اليابان وكوريا الجنوبية نحو 9.1 مليار دولار، وباستثمارات مجمعة بلغت نحو 23 مليار دولار، وهو ما يمثل أكثر من 50 % من إجمالي الاستثمارات العالمية في مجال أنشطة البحث والتطوير في قطاع البتروكيماويات على مستوى العالم [89]. يبين الشكل (48) الدول الرائدة من حيث إجمالي الإنفاق على أنشطة البحث والتطوير في قطاع الكيماويات في لعام 2017 [88].

الشكل (48): الدول الرائدة من حيث إجمالي الإنفاق على أنشطة البحث والتطوير في قطاع الكيماويات لعام 2017



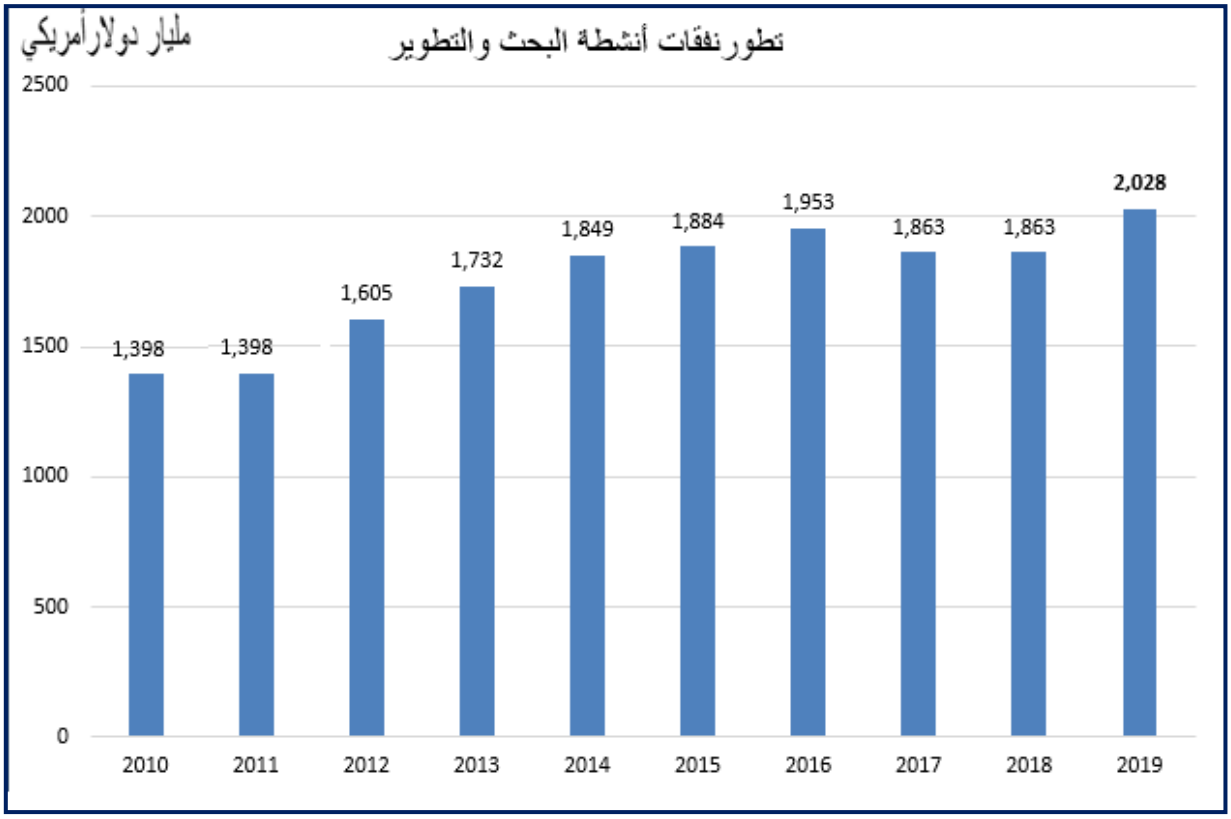
المصدر: Statista 2020 ©

بشكل عام، يجب زيادة حجم الأبحاث التي يتم إجراؤها، وكذلك يجب أن تعمل الشركات الكبرى على مراجعة خطط البحث والتطوير الخاصة بها، وتوسيع مدى أهداف برامج الأبحاث لديها لمواجهة التحديات التي تواجه الصناعة. وبينما تتجه شركات النفط والغاز الكبرى، وشركات الصناعات التحويلية إلى خفض النفقات في مجالات عديدة، وعلى الرغم من انخفاض أسعار النفط، إلا أن شركات البتروكيماويات خالفت هذا الاتجاه، وحافظت على تخصيص نسبة مرتفعة نسبيا لأنشطة البحث والتطوير كنسبة من مبيعاتهم [87] . تاريخيًا، شكلت نسبة الإنفاق على أبحاث وتطوير تحسينات العمليات والمنتجات حوالي 80-90٪ من إجمالي إنفاق البحث والتطوير في الشركات الرائدة. على الرغم من وجود مخاطر مرتبطة بالبحث والتطوير، إلا أن معدلات العائد على الابتكارات الناجحة يمكن أن تصل إلى 25-35٪. في دراسة لمجلس البحوث الكيميائية ومقره الولايات المتحدة، وجد أن كل دولار يُستثمر في البحث والتطوير ينتج نحو 2 دولار.

يمثل إنفاق شـــركات الكيماويات في الاتحاد الأوروبي حوالي 23٪ من إجمالي الإنفاق العالمي على أنشـــطة البحث والتطوير العالمي، وحافظت على ميزانيات البحث العلمي عند نســـبة حوالي 2% من إجمالي مبيعاتها. تنفق معظم الشـــركات ميزانيات البحث والتطوير الخاصة بها على مشاريع البحث والتطوير الداخلية، أو على تعاقد مع شركات اَخرى بغرض اجراء تلك الأنشطة.

بلغت نفقات شركة " باسف" على أنشطة البحث والتطوير حوالي 2.158 مليار دولار في عام 2019، مرتفعة عن نفقات عام 2018، والتي بلغت حوالي 1.994 مليار دولار . بلغت مخصصات البحث والتطويرللمنتجات الجديدة والمحسّنة حوالي 63% من إجمالي النفقات على بحوث التطوير، وبلغت حوالي 19٪ على العمليات الجديدة والمحسّنة ، ونحو 16٪ على تطوير الأساليب ، وحوالي 2٪ على تطوير التطبيقات الجديدة. وبناءً على هذه النفقات ، تتوقع الشركة تحقيق مبيعات سنوية بحلول 2030 تزيد عن 15 مليار دولار [90]. يبين الشكل (49) إجمالي إنفاق شركة باسف على أنشطة البحث العلمي خلال الفترة 2010-2019 [92].

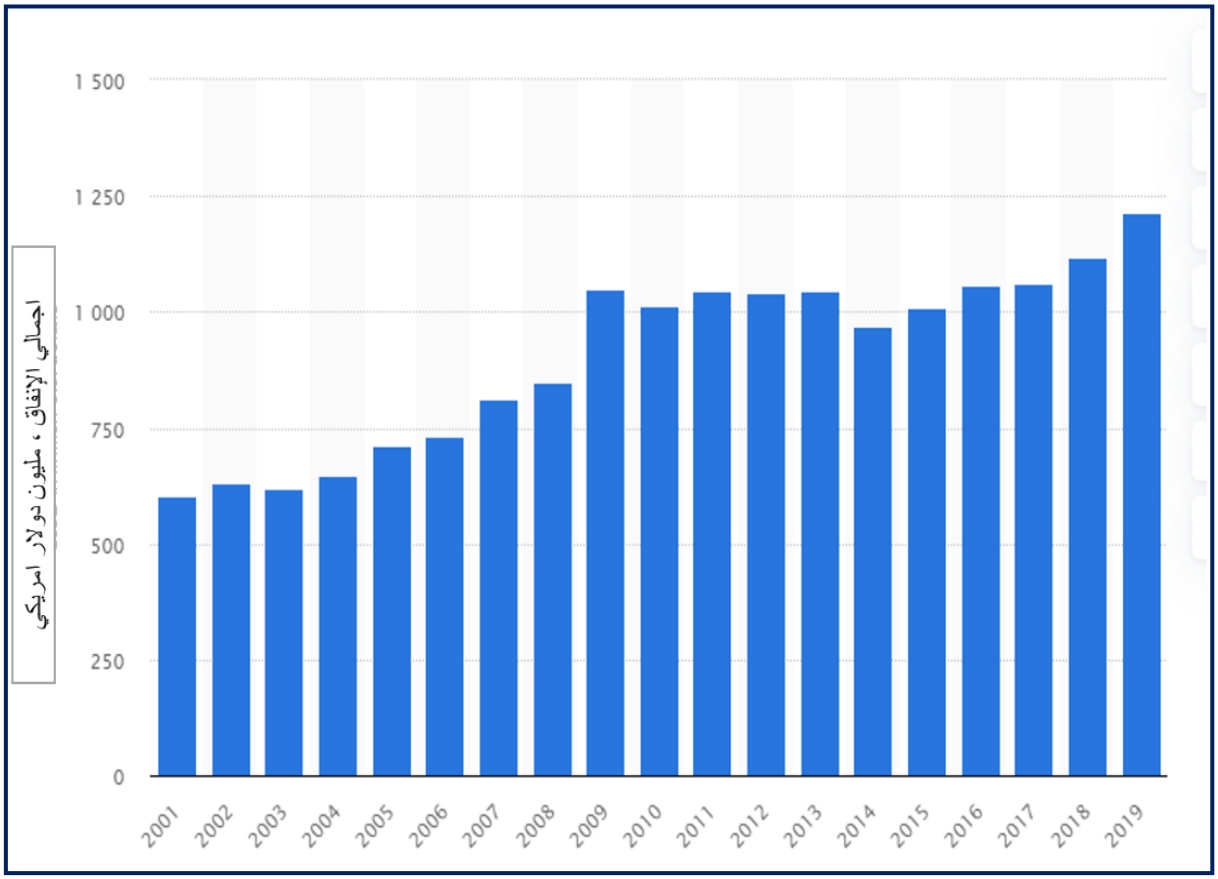
الشكل (49) : إجمالي إنفاق شركة باسف على أنشطة البحث العلمي والتطوير خلال الفترة 2010-2019



المصدر : https://report.basf.com/2018/en/overviews/ten-year-summary.html

هذا وقد حققت الشركة مبيعات في عام 2019 بلغت حوالي 10 مليارات دولار من خلال المنتجات التي تم طرحها في الأسواق في السنوات الخمس الماضية والتي نتجت عن مخرجاتها من أنشطة البحث والتطوير في معاملها. وتهدف الشركة إلى زيادة المبيعات والأرباح بشكل كبير من خلال المنتجات الجديدة والمحسّنة على المدى الطويل ، وخاصة المنتجات التي تساهم بشكل كبير في الاستدامة في سلسلة القيمة [91]. من جانب آخر بلغ إجمالي نفقات شركة "إكسون موبيل العالمية" في مجال أنشطة البحث والتطوير نحو 1.2 مليار دولار خلال عام 2019. يبين الشكل (50) إجمالي إنفاق شركة أكسون موبيل على أنشطة البحث العلمي خلال الفترة 2014-2019.

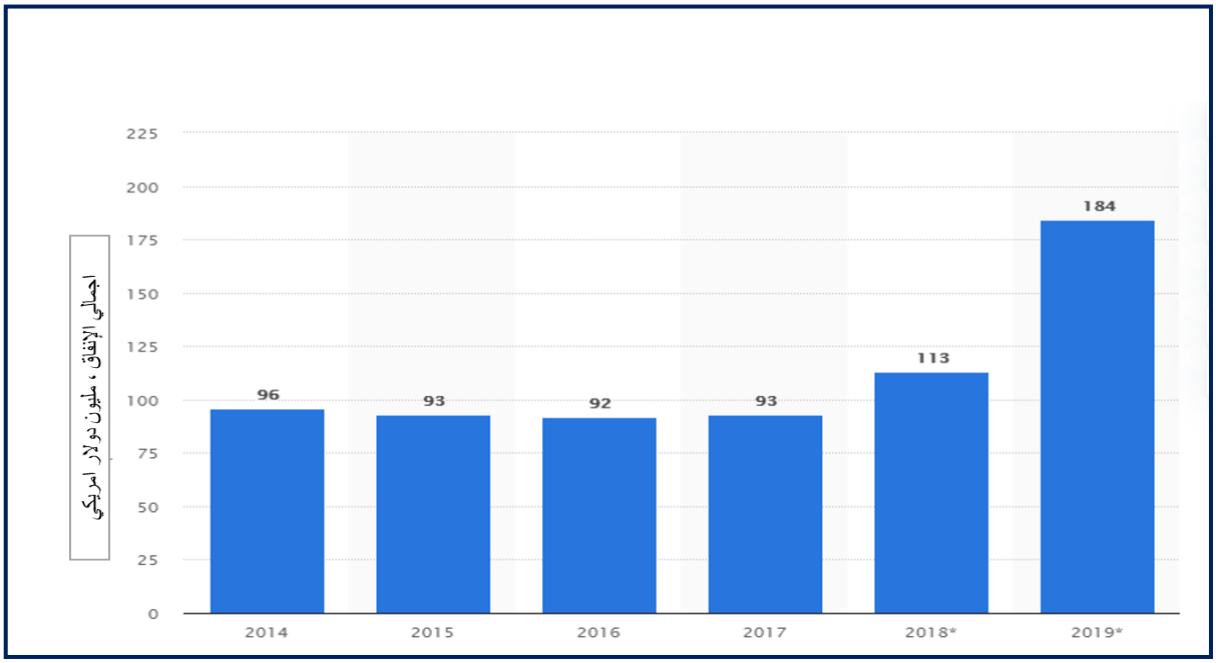
الشكل (50): إجمالي إنفاق شركة أكسون موبيل على أنشطة البحث العلمي خلال الفترة 2014-2019



المصدر: https://www.statista.com/statistics/281239/research-and-development-costs-of-exxon-mobil/

بلغ إنفاق شركة " ليندي" على أنشطة البحث والتطوير لديها حوالي 184 مليون دولار أمريكي في عام 2019. يبين الشكل (51) حجم إنفاق شركة ليندي على أنشطة البحث والتطوير في مجال الكيماويات خلال الفترة 2014-2019.

الشكل (51): إجمالي إنفاق شركة ليندي على أنشطة البحث والتطوير في مجال الكيماويات خلال 2019-2014



المصدر: https://www.statista.com/statistics/273170/linde-groups-expenditure-on-research-and-development/

3.6. استثمارات الدول العربية في مجال أنشطة البحث والتطوير

تتركز جهود البحث العلمي والتطوير في الدول النامية والدول العربية في المراكز الحكومية، والجامعات، ومراكز البحوث، مع غياب واضح لدور القطاع الخاص في أنشطة البحث والتطوير وفي تمويلها. يعتبر حجم إنفاق الدول العربية على البحث العلمي والتطوير متدني مقارنة بالدول المتقدمة، حيث يصل إلى أقل من1% من إجمالي الدخل القومي الإجمالي، مما يؤدي إلى عدم توفر البنية التحتية اللازمة للبحث، وانخفاض الإنتاجية العلمية. ومع ذلك، أصبح مفهوم الابتكار يزداد أهمية للمحافظة على القدرة التنافسية على مستوى العالم.

تعتمد الدول العربية بشكل أساسي على إنتاج البولي أوليفينات، والعطريات، وتركز الكثير من جهودها الابتكارية على كل من المنتجات، وعمليات التصنيع، والتي يتم فيها بشكل أساسي تطوير التكنولوجيا من خلال العمليات والمشاريع المشتركة مع الشركات العالمية، أو

بالحصول عليها بشكل مباشر من المرخصين. ويمثل الابتكار المفتوح بالنسبة للشركات العربية العاملة في قطاع البتروكيماويات حافزا مهما لتسريع برامج البحث والتطوير والابتكار بها، بهدف تقليل الوقت اللازم لإكمال مشاريع البحث والتطوير، وهو نهج أكثر ملاءمة للشركات الكبيرة مقارنة بالشركات الصغيرة أو متوسطة الحجم. ويعد "الوصول إلى الأفكار والقدرات الخارجية" أكبر فائدة ممكنة للابتكار المفتوح، ويساعد على جذب أفضل الأفكار من الشركاء الاستراتيجيين والموردين على حد سواء، مما يمنحهم إمكانية الوصول إلى ابتكارات أسرع وأفضل، وأكثر اقتصادية وهي ميزة تنافسية رئيسية.

لا تعتبر الإدارات التنفيذية في شركات البتروكيماويات العربية أنشطة البحث والتطوير تحدي على الإطلاق وانما تعتبره يمثل دورا مهما في رسم معالم مستقبل الاستدامة لمنتجي البتروكيماويات وعملائهم على حد سواء. وتركز الشركات على الابتكارات المتعلقة بالعمليات التي تستهدف تحسين الأداء البيئي الخاص بالمنتجين، كما تستثمر في تطوير حلول لمنتجات جديدة بهدف تحسين أدائها وجودة مواصفاتها [87].

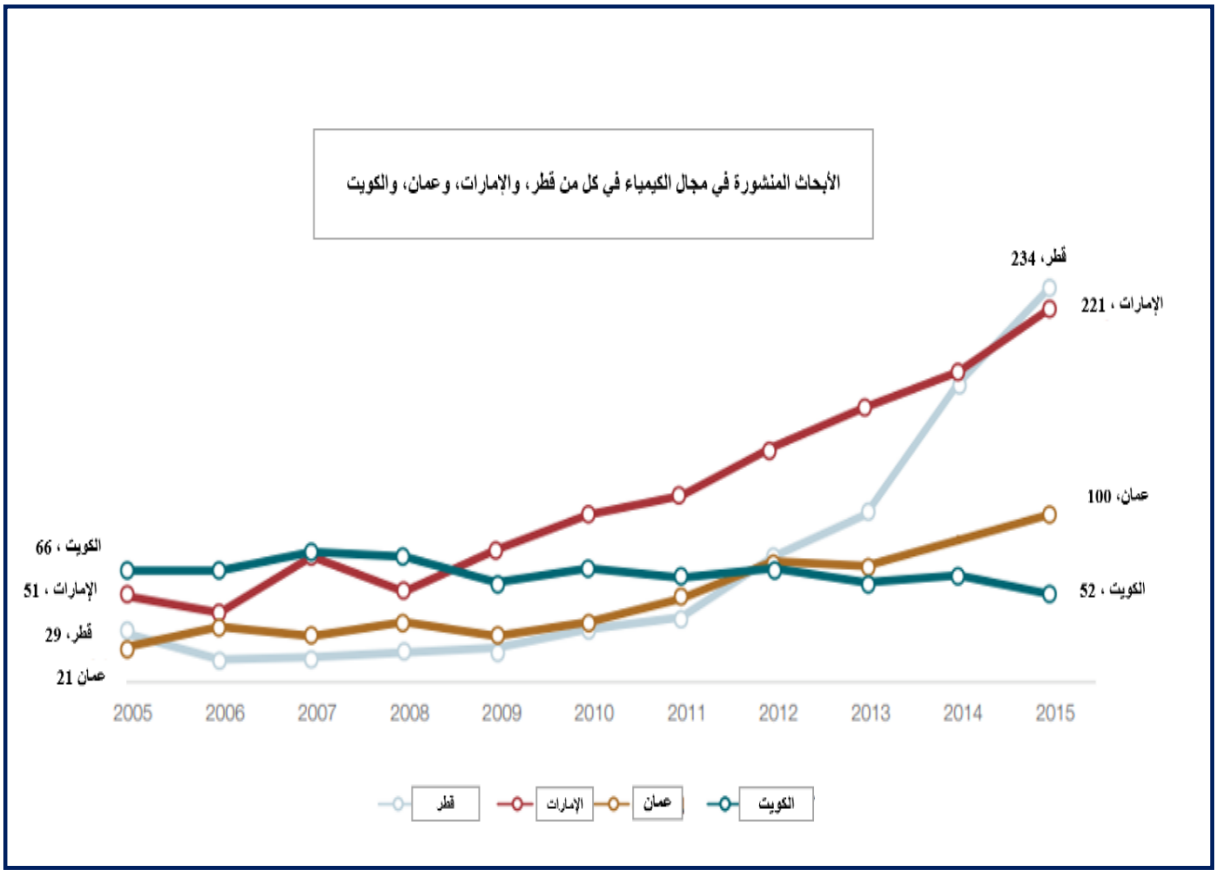
كانت لشركات النفط والبتروكيماويات الوطنية في الدول العربية كثافة منخفضة نسبيًا في البحث والتطوير " نسبة الإنفاق على البحث والتطوير إلى الإيرادات " مقارنةً بنظيراتها العالمية، ومع ذلك، فإنها تتخذ الآن خطوات لتغيير ذلك. وتم توجيه جهود تلك الشركات الآن نحو إنشاء مراكز بحثية خاصة بها، ومتابعة فرص التعاون مع الجامعات ومقدمي الخدمات والشركاء الآخرين، بما في ذلك الشركاء الدوليين للابتكار.

سجلت دول مجلس التعاون الخليجي 877 براءة اختراع كيميائية في عام 2015، ومثلت حوالي 0.2٪ من إجمالي براءات الاختراع العالمية والتي بلغت أكثر من 443 ألف براءة اختراع، وتظل هذه النسبة منخفضة. يتم تقديم حوالي 78٪ من إيداعات براءات الاختراع من قبل المتقدمين في دول مجلس التعاون الخليجي خارج البلاد، وهو ما يعكس عولمة حماية الملكية الفكرية، والرغبة في تسويق التكنولوجيا في الأسواق الخارجية.

تمثل المملكة العربية السعودية حوالي 90٪ من اجمالي براءات اختراع دول الخليج العربي في مجال تطبيقات الكيمياء، وحوالي 30% من براءات الاختراع في مجال البوليمرات [89]. في حين شكلت دولة الإمارات العربية المتحدة حوالي 7٪. وبلغت نسبة براءات الاختراع لدولة قطر نحو 0.5% [89].

نشرت كل من دولة قطر والإمارات العربية المتحدة في عام 2015، أكثر من 200 بحث في مجال الكيمياء. واستحوذت قطر على 8 %من اجمالي الأبحاث المنشورة في مجال الكيمياء من بين دول مجلس التعاون الخليجي. يبين الشكل (52) إجمالي عدد الأبحاث المنشورة في مجال الكيمياء في كل من قطر، والإمارات، وعمان، والكويت في عام 2015.

الشكل (52): إجمالي عدد الأبحاث المنشورة في مجال الكيمياء في كل من قطر، والإمارات، وعمان، والكويت في عام 2015



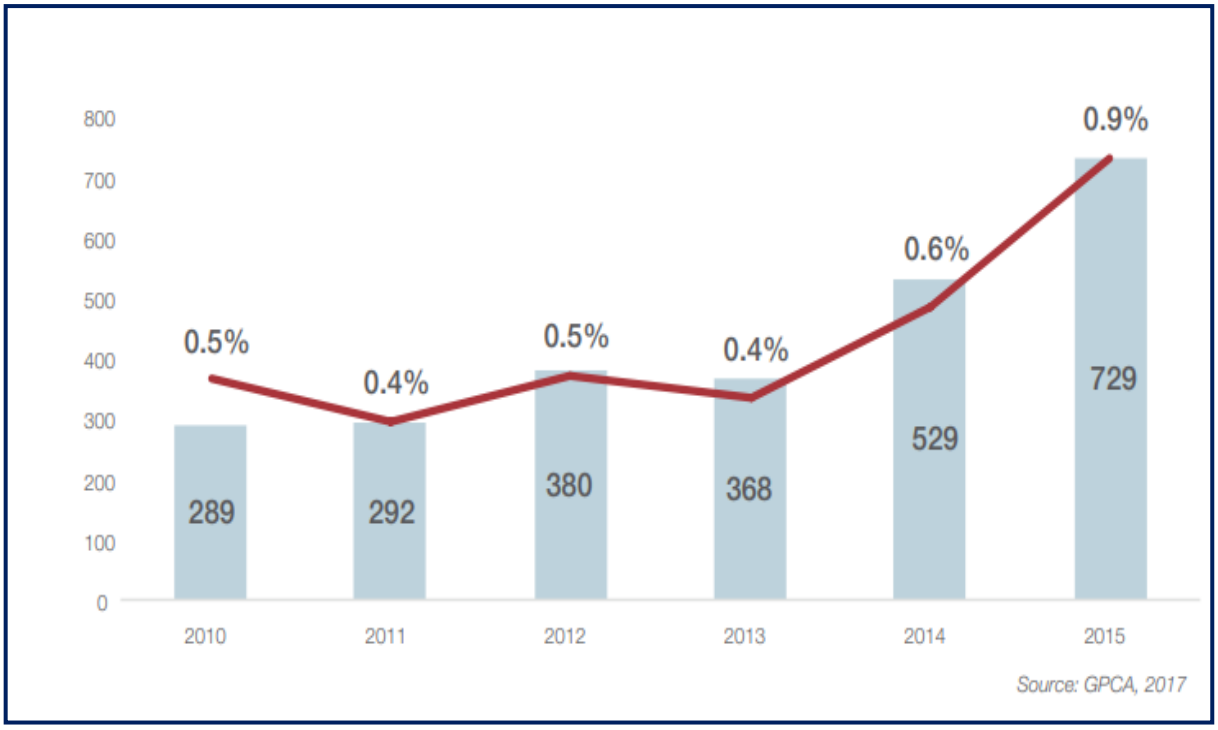
المصدر: GCC Chemicals Industry Innovation Indicators 2016

1.3.6. مجالات أنشـــطةالبحث والتطوير في قطاع الصـــناعات التحويلية في الدول العربية

نظراً للتطورات في قطاع الصـناعات التحويلية في الدول العربية، فإن الشـركات تعمل على النظر إلى إنتاج مجموعة أوســع من المنتجات. وهذا ليس جديد بالنســبة لصــناعة البتروكيماويات، فحوالي 22٪ من شــركات البتروكيماويات العربية، وخاصــة في منطقة الخليج العربي تشــارك بالفعل في تطوير منتجاتها مع شــركاء خارجيين. وقدمت دول مجلس التعاون الخليجي حوافز للمســتثمرين الأجانب ذوي التقنيات المتطورة، شــملت الإعفاءات الضـريبية، ومعدلات الضـرائب المنخفضـة، وإعفاء استيراد المعدات من الرسوم الجمركية، وضــمانات ضــد نزع الملكية دون تعويض، والحق في إعادة الأرباح، والقوانين التي تحمي حقوق الملكية الفكرية ومعلومات الملكية للمستثمر [80].

هذا وقد بلغ حجم الاستثمارات لصناعة البتروكيماويات في عام 2015 في مجال أنشطة البحث والتطوير في دول الخليج العربي نحو 729 مليون دولار أمريكي [78]، وهو ما يمثل أقل من 1% من المبيعات مقارنة بحوالي 3% لشركات عالمية مثل " باسف"، وشركة "داو" [80]. يتطلب من شركات البتروكيماويات العربية التطوير والتحسين المستمر في مواصفات منتجاتها، وهو ما يعني المزيد من أنشطة البحث والتطوير [80]. يبين الشكل (53) إنفاق دول مجلس التعاون الخليجي على أنشـطة البحث والتطوير في صـناعة الكيماويات (مليون دولار أمريكي ونسبة من إجمالي المبيعات).

الشكل (53): إنفاق دول مجلس التعاون الخليجي على نشطة البحث والتطوير في صناعة الكيماويات (مليون دولار أمريكي ونسبة من إجمالي المبيعات)



حددت شركات البتروكيماويات الكبرى في دول منطقة الخليج العربي عدد من المنتجات الرئيسية ذات الأهمية الاستراتيجية، لتكون هذه المنتجات في مجال أنشطة البحث والتطوير التطبيقي من خلال استراتيجيات المشاركة مع الشركات العالمية، أو الاستحواذ في مجالات تكنولوجيا العوامل الحفازة، ومعالجة المياه بتكنولوجيا "الأغشية"، وتكنولوجيا الاحتراق النظيف.

يعد استحواذ شركة " أبو ظبي الدولية للاستثمار البترولي "IPIC" على حوالي 64% من شركة "بوريالس"Borealis النمساوية، وشركة نوفا كيميكالز" NOVA Chemicals مثال جيد على هذه الاستراتيجية. تمتلك شركة "بروج للبتروكيماويات " منشأة للبحث والتطوير وهو "مركز بروج للابتكار"، ويعد أحد المشروعات التي سعت الشركة إلى تنويع استثماراتها من خلال مشروع استثماري مشترك مع شركة "بوريالس". ويعد مركز الابتكار

مكونًا رئيسيًا في هدف شركة "بروج" لتصبح مزودًا رائدًا للحلول البلاستيكية المبتكرة من خلال الابتكار لتحقيق القيمة المضافة، ولتكون أساس الابتكار والبحث في مجال تطوير البوليمرات، وتكنولوجيا البوليمرات [90].

يعتمد مركز "بروج للابتكار" في عمله على تطوير تكنولوجيا البوليمرات، والمنتجات النهائية، ويضم عدة مختبرات متطورة مزودة بأجهزة فحص دقيقة لاختبار أنواع متعددة من البوليمرات والتأكد من أدائها العالي للوصول للمواصفات العالمية الخاصة بالعمليات التحويلية للبوليمرات البلاستيكية. ويتعاون مركز بروج للابتكار مع مراكز الابتكار الأوروبية التابعة لشركة "بوريالیس"، وكذلك مع مركز التطبيقات التابع لشركة بروج في "شنغهاي" بالصين. سجلت "بروج" منذ بداية عمليات البحث والتطوير خلال السنوات القليلة الماضية، أكثر من 200 براءة اختراع، وهو ما يمثل نحو 30 % من إجمالي براءات الاختراع المسجلة في قاعدة بيانات المنظمة العالمية للملكية الفكرية في دولة الإمارات العربية المتحدة. وتم تطوير حوالي 15% من إجمالي إنتاج الشركة الحالي من البولي أوليفينات في مركز بروج للابتكار [90]. كما قدمت الشركة منتجات تمكن العملاء من تخفيض استهلاك البلاستيك بنحو 10-20 % في قطاع تغليف الأغذية [92].

ساهمت أيضاً جهود التطوير والابتكار في خفض نسب استخدام المواد الخام الأولية، والطاقة المستخدمة في الإنتاج، وكذلك في تحسين مواصفات منتجات البولي بروبيلين المستخدمة في قطاعات البناء والتشييد، خاصة مواسير الضغط العالي والمنخفض، وتعد هذه المنتجات بديلاً عن الأنابيب الأسمنتية التقليدية، بالإضافة إلى إنتاج منتجات متخصصة في مجال تغذية قطاع صناعة السيارات، وإنتاج منتجات متعددة الأغراض والاستخدامات في مجال التعبئة [90]. يبين الشكل (54) نماذج لبعض منتجات شركة بروج المبتكرة من البولي بروبيلين.

الشكل (54): نماذج لبعض منتجات شركة بروج المبتكرة من البولي بروبيلين

Polyolefin R&D Defining the New Frontiers for Petrochemical Industry, Antti Tynys, "Latest Advancements in Refining and Petrochemical Industries "OAPEC Conference, Bahrain,2016 :المصدر

أطلقت المملكة العربية السعودية في عام 2020، برنامج "استدامة الطلب على البترول"، الذي يعمل تحت مظلة اللجنة العليا للمواد الهيدروكربونية، بمشاركة 17 جهة تشمل: وزارات وهيئات وشركات، ومراكز أبحاث متخصصة [82]. ويهدف البرنامج إلى رفع الكفاءة الاقتصادية والبيئية للزيت والغاز التقليدي وغير التقليدي، والتركيز على الابتكار، والاستخدامات صديقة البيئة، مما ساهم زيادة الطلب على البتروكيماويات الابتكارية، حيث تم إنتاج مواد غير معدنية مثل بلاط البوليمر، والخرسانة البوليميرية، والبلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية.

هذا وتمتلك المملكة العربية السعودية عدد من المراكز والمعاهد البحثية التي تسهم في تطوير صناعة التكرير والصناعات التكميلية مثل: مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية، ومراكز الأبحاث التابعة لجامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية، والمعهد التقني السعودي لخدمات البترول.

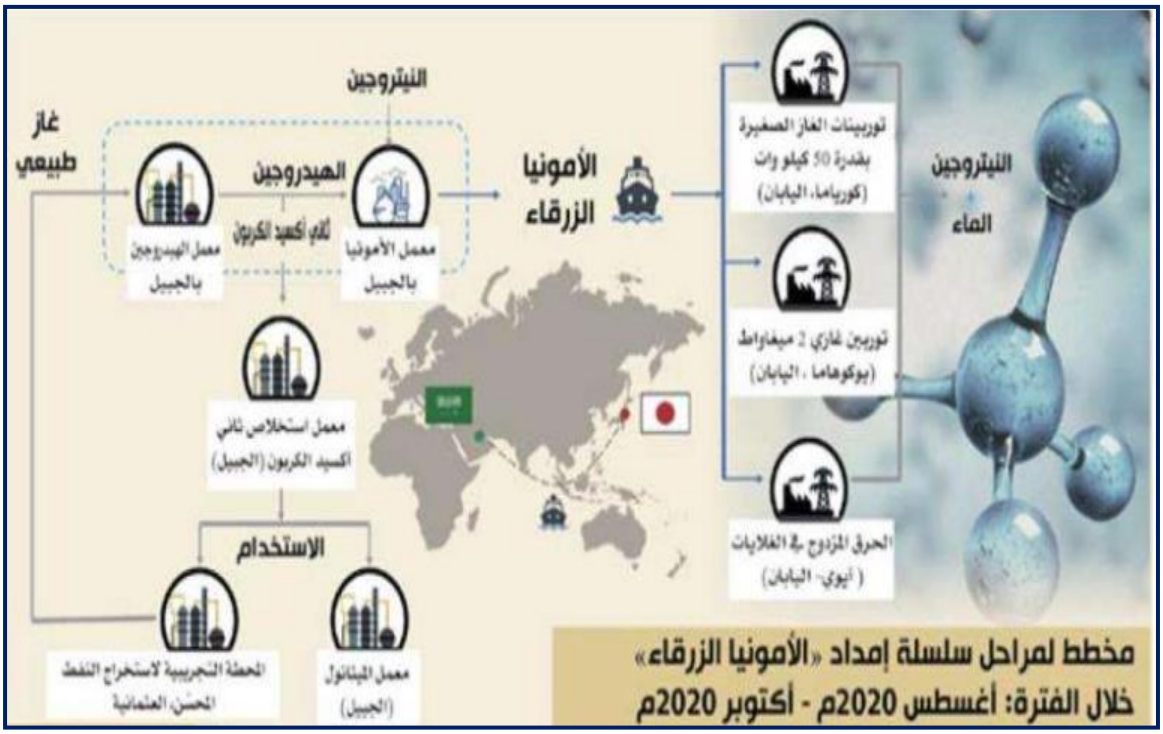
تنتهج شركة "أرامكو" السعودية أحد استراتيجيات الابتكار، بهدف تنويع أصول الملكية الفكرية الخاصة بها، من خلال إنشاء شبكة بحث عالمية، والمشاركة في تأسيس مؤسسات بحث في كل من الولايات المتحدة الأمريكية، وأوروبا، وآسيا؛ مما ساهم في مشاركة عدد كبير من الباحثين على مستوى العالم، وشملت مجالات البحث الحالية للشركة، التعاون مع جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية، ومراكز الأبحاث في بوسطن، وهيوستن، وباريس، وأبردين، التركز على مجموعة محددة من التكنولوجيات لتطويرها. وتعد هذه المؤسسات منضمة لمؤسسات البحث والتطوير المركزية التابعة لشركة أرامكو، وأهدافها الرئيسية في العمل ومكملة لها.

أدت جهود الشركة إلى احتلالها المرتبة الأولى على مستوى الدول العربية في براءات الاختراع المسجلة دوليا حيث وصلت نسبة مشاركتها نحو 45% من إجمالي عدد التسجيلات. وشملت أنشطة البحث العديد من المجالات، ومنها على سبيل المثال: تطوير العوامل الحفازة، وعلوم المواد، والنانو تكنولوجي، وعلم الإنسان الآلي، والمواد المستخدمة في إنتاج الطاقة الشمسية [79].

من جانب آخر استطاعت جهود أنشطة البحث والتطوير في شركة "أرامكو" السعودية، وشركة "سابك" للصناعات الأساسية، بمشاركة معهد اقتصاديات الطاقة الياباني(IEEJ) ، في إنتاج وتصدير أول شحنة في العالم من الأمونيا الزرقاء، وتبلغ حوالي 40 طن إلى اليابان، لاستخدامها في توليد الطاقة الخالية من الكربون. يعتمد إنتاج الأمونيا الزرقاء على مفهوم

اقتصاد الكربون الدائري(CCE) ، وهو مفهوم يعتمد على تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وإزالتها وإعادة تدويرها، وإعادة استخدامها، بدلا من إطلاقها في الغلاف الجوي. وفي هذا الصدد تم احتجاز نحو 30 طن من ثاني أكسيد الكربون للاستخدام في إنتاج الميثانول في مصنع الميثانول "ابن سينا" التابع لشركة "سابك"، واستخدام 20 طنا أخرى من ثاني أكسيد الكربون المحتجز لتحسين عملية استخراج النفط (EOR) في حقل "العثمانية." يبين الشكل (55) مخطط مراحل سلسلة الإمداد للأمونيا الزرقاء.

الشكل (55): مخطط مراحل سلسلة الإمداد للأمونيا الزرقاء



تعمل حالياً شركة "أرامكو" السعودية مع شركاء عالميين في ظل السيناريوهات التي تتوقع انخفاض نمو الطلب على الوقود التقليدي من "الغازولين"، على تعظيم القيمة المضافة لبرميل النفط، وتنويع محفظة منتجاتها النهائية، والتوسع في أعمالها لتطوير صناعة البتروكيماويات، وتمكين الابتكار والريادة من خلال تطوير تكنولوجيا تحويل النفط الخام مباشرةً إلى كيماويات. يعتمد المشروع الجديد على تحويل نحو 400 ألف برميل يوميا من النفط لإنتاج حوالي 9 ملايين طن من الكيماويات. وستعمل أرامكو السعودية على تحويل ما

بين 70-80% من النفط الخام مباشرة إلى منتجات بتروكيماوية، بتكلفة إجمالية للمشروع تبلغ نحو 20 مليار دولار. من المتوقع أن يؤدي هذا التنوع في سياسات شركة "أرامكو" إلى زيادة إنتاج البتروكيماويات المتخصصة، وزيادة هامش الربح لطن البتروكيماويات التقليدية من 500 دولار حاليا إلى نحو 2000 دولار للطن من البتروكيماويات المتخصصة بحلول عام 2040.

وفي إطار استراتيجيات زيادة القيمة المضافة وإنتاج البوليمرات الهندسية، تمكنت شركة أرامكو من إنتاج حديد التسليح من البوليمر المركب المقوى بالألياف الزجاجية في خرسانة التسليح بدلاً من الفولاذ، وهو ما يعتبر أحد مجالات النمو في البوليمرات المتخصصة للشركة في المواد غير المعدنية التي يمكن أن تحل محل المنتجات عالية الانبعاثات الكربونية مثل الصلب في قطاعات مثل البناء والإسكان والسيارات ومصادر الطاقة المتجددة. ويتميز المنتج الجديد بأنه مقاوم للتأكل.

تمكنت ايضاً كل من شركة "سابك"، وشركة "ليندي العالمية" في إطار التعاون المشترك بينهما في مجال أنشطة البحث والتطوير عام 1998 من تطوير تكنولوجيا "ألفا سابلين" لإنتاج أوليفينات ألفا الخطية. وتعد تقنية (ألفا سابلين) من التقنيات التي أكدت نجاحها تجارياً، وتستخدم هذه التقنية منتج الإيثيلين كمادة خام أولية لإحداث تفاعل متجانس في مرحلة واحدة لإنتاج تشكيلة من منتجات الأوليفينات ألفا الخطية عالية النقاوة. تتشعب تطبيقات منتجات الأوليفينات ألفا الخطية عالية النقاوة، لإنتاج المنتجات الخفيفة لمواد (البيوتين-1)، و(الهكسين-1)، (الأوكتين-1) المستخدمة في تنمية سوق البولي إيثيلين، فيما تستخدم المنتجات المتوسطة مثل (الديسين-1)، (الدوديسين-1)، (التتراديسين-1) في إنتاج الزيوت الصناعية، والمنظفات والشامبو، أما المنتجات الثقيلة فتستخدم في إضافات زيوت التشحيم، والكيماويات المستخدمة في حقول النفط، وغيرها.

وطورت شركة "سابك" في المملكة العربية السعودية مواد بناء مبتكرة لتخفيض استهلاك الطاقة الناتجة عن تدفئة وتبريد المباني ما يسهم في خفض في الطاقة المستخدمة يقدر بنحو 15-25%. كما قامت بتحسين سماكة الأفلام البلاستيكية المستخدمة في أنشطة التغليف خلال الأعوام الماضية، مما مكن قطاعات التغليف من خفض معدلات استهلاك مواد التغليف المستخدمة. وتهدف برامج الأبحاث والتطوير في الشركات على التركيز على كامل سلسلة القيمة، كما تتعاون الشركة مع العملاء الرئيسيين لتحديد البرامج ومتطلبات تطوير منتجات محددة.

تمكنت شركة الجبيل المتحدة (المتحدة) التابعة لـشركة "سابك" من التعاقد مع شركة "ليندي" للقيام بكافة الأعمال التصميمية، والتوريدية، والإنشائية لمصنع إنتاج الألفا أوليفينات الخطية بطاقة سنوية 150 ألف طن في مجمعهما في مدينة الجبيل الصناعية، وتولت تنفيذه شركة (ليندي كيه سي إيه دريسدن)، وهي من الشركات التابعة لشركة ليندي، بالتعاون مع شركة ليندي للهندسة، وقطاع سابك للتقنية والابتكار.

نجحت شركة صناعة الكيماويات البترولية "ايكويت" في تطوير وتحسين خواص وتركيب المواد البلاستيكية لتغليف الأغذية من خلال تعاون مركز البحث والتطوير في الشركة، مع مؤسسة الكويت للتقدم العلمي، والشركة الكويتية للأغذية (أمريكانا)، وشركة الصناعات البلاستيكية، وذلك في إطار تعاون مشترك لابتكار حلول متطورة في مجال التغليف البلاستيكي للمواد الغذائية. قامت مؤسسة الكويت للتقدم العلمي بدور حلقة الوصل عبر التنسيق المشترك مع الشركات المعنية، ومع مؤسسة المعاهد الألمانية بهدف إيجاد وسائل تقنية تمثل قيمة مضافة. وتم تطوير هذه الحلول بناءً على مجموعة من العمليات ذات العلاقة بإنتاج البلاستيك الخام، والرقائق البلاستيكية المستخدمة في إنتاج أغلفة الأطعمة (81).

الاستنتاجات والتوصيات:

يساهم البحث العلمي بشكل رئيسي في تقدم ونهضة صناعة البتروكيماويات العالمية منذ نشأتها وحتى الآن. وتواجه صناعة البتروكيماويات العالمية العديد من التحديات مثل عدم وفرة المواد الخام الأولية منخفضة التكلفة، وتقلب أسعار النفط مما يؤثر بشكل مباشر على سوق البتروكيماويات العالمي، وزيادة عدم اليقين وفقدان الثقة لدى المستثمرين الجدد. بالإضافة إلى خروج بعض منتجات البتروكيماويات من المنافسة في الأسواق بسبب ارتفاع تكلفة المواد الخام الأولية اللازمة للإنتاج، وانخفاض هامش الربح. أدى تطوير تكنولوجيا الإنتاج إلى توفير بدائل من المواد الخام الأولية بأسعار تنافسية، مما ساهم في تغيير مشهد صناعة البتروكيماويات العالمي. هناك مزيد من الضغوط على شركات البتروكيماويات العالمية لتطوير وتحسين مواصفات المنتجات لتلبية متطلبات ورغبات المستهلكين، خاصة في ظل انخفاض اسعار النفط، والذي يمثل كل من التحدي والفرص لهذه الصناعة.

توصلت الدراسة إلى الاستنتاجات التالية:

- يوفر الابتكار المفتوح فوائد عديدة مثل خفض تكلفة إجراء البحوث والتطوير، وإمكانية تحسين وتطوير الإنتاج، ومشاركة العملاء في عملية التطوير، وزيادة الدقة في أبحاث السوق واستهداف العملاء.
- الابتكار المفتوح أمر أساسي لنجاح مستقبل صناعة البتروكيماويات.
- يعد التعاون بين الصناعة والأوساط الأكاديمية أحد الطرق المثمرة للابتكار في صناعة البتروكيماويات.
- تزداد احتمالية منح عدد أكبر من براءات الاختراع للشركات، كلما زادت أنشطة البحث والتطوير، والتي يتحكم فيها أيضاً جودة البحث.

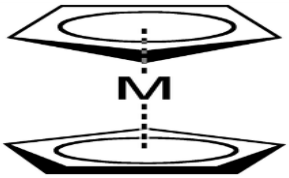
- نجحت أنشطة البحوث والتطوير في صناعة البتروكيماويات في توفير مصادر جديدة ومتعددة من المصادر النفطية لتلبية متطلبات الاحتياج المتزايد من الكيماويات، والذي فاق بدرجة كبيرة إمكانية توفيره من المصادر غير النفطية.
- حافظت صناعة البتروكيماويات على مكانتها في سبعينيات القرن الماضي من خلال تقديم حلول علمية وتقنية، ومبادرات لمواجهة التحديات التي اعترضتها حينئذ مثل التلوث البيئي والاحتباس الحراري، وارتفاع نسب استهلاك الطاقة.
- تستخدم شركات البتروكيماويات الرائدة براءات الاختراع كأحد الأدوات لجني الأرباح من الابتكار.
- يعد تعظيم إنتاج غاز السجيل "الغاز الصخري" في الولايات المتحدة الأمريكية من خلال تقنية التشقيق الهيدروليكي مثالاً جيداً لدور التقدم التكنولوجي في الوصول إلى احتياطيات كانت غير مجدية اقتصادياً، وأثر ذلك في تعزيز تنافسية شركات البتروكيماويات الأمريكية في الأسواق العالمية.
- يشكل تطوير أساليب الإنتاج منخفضة التلوث التي تهدف إلى تقليل كمية المنتجات الثانوية جوهر التطور التكنولوجي في صناعة البتروكيماويات.
- من المتوقع أن تلعب التطورات التكنولوجية الحديثة، والابتكارات العلمية دوراً مؤثراً في إعادة رسم مشهد صناعة البتروكيماويات العالمي خلال السنوات القليلة القادمة.
- يمكن اعتماد الطرق الكيميائية المبتكرة، وتطوير تكنولوجيا إنتاج البلاستيك الحيوي، وغيرها من المبادرات العلمية لحل مشكلات التخلص الآمن من النفايات البلاستيكية.
- تعد تكنولوجيا تحويل النفط الخام إلى كيماويات من أهم التطورات الحديثة التي يمكن أن يكون لها آثار استراتيجية عميقة على مستقبل صناعة البتروكيماويات العالمية.
- تتركز جهود البحث العلمي والتطوير في الدول النامية والدول العربية في مراكز البحوث الحكومية، والجامعات، مع غياب واضح لدور القطاع الخاص في أنشطة البحث والتطوير وفي تمويلها.

كما توصلت إلى التوصيات التالية:

1. ضرورة ترسيخ ثقافة الابتكار في شركات البتروكيماويات العربية لضمان تحولها بمشاركة التحالفات الدولية إلى مؤسسات ابتكارية عالمية.
2. ضرورة الاهتمام بقطاع البحث والتطوير، لتلبية الطلب المتزايد على منتجات البتروكيماويات.
3. تحسين المعرفة بالتطورات العالمية في مجال تكنولوجيا صناعة البتروكيماويات.
4. تحديد المجالات، والأولويات التي تحتاج إلى إقرار التشريعات، وتبسيط الإجراءات والسياسات لضمان تشجيع الاستثمارات في أنشطة البحث والتطوير.
5. ضرورة زيادة نسب مخصصات البحث والتطوير في شركات الغاز، وتكرير النفط والبتروكيماويات العربية، بما يماثل نسب مخصصات الشركات الرائدة في هذا المجال.
6. إعداد الاستراتيجيات الفعالة لتطوير تكنولوجيا البتروكيماويات مع الحلفاء الدوليين، بهدف تنويع اقتصادات الدول العربية، وخاصة النفطية، وعدم الاعتماد بشكل مباشر على إيرادات النفط كمصدر شبه وحيد لتمويل ميزانيتها.
7. وضع خطط وبرامج لتطوير تكنولوجيا البتروكيماويات، ودراسة أنسب الطرق لنقل التكنولوجيا الحديثة إلى الشركات العاملة في قطاع البتروكيماويات.
8. الاستفادة من تكامل الإمكانات العلمية المتاحة في الجامعات والمراكز البحثية والصناعية.
9. توسيع التعاون الدولي، وبناء التحالفات الدولية في هذا المجال بالتعاون مع الجامعات والمعاهد البحثية الحكومية والخاصة والشركات الصناعية.
10. زيادة الاهتمام بالكوادر البشرية والعلمية العاملة في مجالات وأنشطة البحث العلمي والتطوير

قائمة المصطلحات

إدارة العمليات Operation Management	الطرق أو العمليات الصناعية المتداخلة أو المترابطة لإنتاج منتج معين
الابتكار المفتوح Open Innovation	مفهوم يحث على الانفتاح على الأفكار الخارجية التي يمكن للمؤسسات استقطابها، فضلاً عن الأفكار الداخلية للشركة
الابتكار المفتوح الداخلي Inbound Open Innovation	نقل المعرفة الخارجية ودمجها مع المعرفة الداخلية الخاصة بالشركة
الابتكار المفتوح الخارجي" Outbound Innovation	شراء أو ترخيص عمليات أو اختراعات (براءات اختراع) من شركات أخرى
كربنة الخشب Wood Carbonization	هي عملية تفحيم الخشب لإنتاج الفحم النباتي، وقطران الخشب
راتنجات Resins	مواد مكونة من مواد عضوية غير متطايرة، أو شبه صلبة والتي تتكون من مخاليط غير متبلورة من أحماض كربوكسيلية ويتم الحصول عليها مباشرة عن طريق تحضيرها ببلمرة الجزيئات البسيطة. أو عبارة عن مادة سميكة ولزجة تنتج من خلال عمليات كيميائية للاستخدام في الصناعة.
البترول الاصطناعي Artificial Petroleum	وقود هيدروكربوني سائل يشبه البترول الطبيعي منتج من الغاز الاصطناعي بطريقة "فيشر تروبش" تم اختراعه في ألمانيا خلال الحرب العالمية الاولى بسبب نقص النفط، وتم التوسع في إنتاجه حتى نهاية الحرب العالمية الثانية. تم وقف إنتاجه بعد الحرب لأنه لم يكن اقتصادياً، ولكن تم استئناف إنتاجه مرة أخرى عن طريق تسييل الفحم مع أزمة النفط في السبعينيات.
الصناعات التخمرية الميكروبية Microbial fermentation industries	استخدام الكائنات الحية الدقيقة تحت ظروف هوائية أو لاهوائية محكمة، لإنتاج مواد نافعة ذات قيمة اقتصادية على النطاق التجاري

محفزات الميتالوسين Metallocene	عبارة عن مركبات كيميائية تتكون من حلقتين متوازيتين من مركبات البنتا دي نيل $C_5H_5^-$ ، ويرتبط بهما في المنتصف عنصر من الفلزات (M) ، تسمى مركبات الميتالوسين حسب نوع الفلز المرتبط به. 
التكسير بالبخار Steam Cracking	هي عملية تستخدم في صناعة البتروكيماويات يتم فيها تكسير الهيدروكربونات المشبعة إلى هيدروكربونات أصغر، غالبًا غير مشبعة. وتعد من الطرق الصناعية الرئيسية لإنتاج الأوليفينات الخفيفة مثل الإيثيلين والبروبيلين.
"اصطياد" أو احتجاز الكربون، واستخدامه، وتخزينه Carbon Capture) (Utilization and Storage	مجموعة من التكنولوجيات والاستراتيجيات التي تهدف للتخفيف من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون للحفاظ على البيئة، وتعظيم الاستفادة منه

المراجع

1. The Role of Innovation And Technology In Sustaining The Petroleum And Petrochemical Industry, Hossein Hassani, Emmanuel Sirimal Silva, Ahmed Mohamedal Kaabi, Technological Forecasting And Social Change, Volume 119, June 2017, Pages 1-17.

2. https://peakoil.com/consumption/peak-oil-is-here-crude-oil-price-to-reach-150-by-2012-year-end.

3. رأس المال البشري والابتكار في المؤسسة الجزائرية، الاستاذ / عبادي محمد السعيد، جامعة باجي مختار – عنابة – مجلة المثني للعلوم الادارية والاقتصادية – المجلد 4 – العدد 10، 2014.

4. Petrochemical Technology Trends: Looking Beyond the Short-Term Fix, AIChE Spring Meeting and Global Congress on Process Safety, 2015.

5. Technology Transfer Models in Petroleum and Petrochemical Industries of Saudi Arabia, 15th World Petroleum Congress, 12-17 October, Beijing, China, 1997.

6. Petrochemical Industry, Https://Www.Sciencedirect.Com/Topics/Earth-And-Planetary-Sciences/Petrochemical-Industry.

7. Petrochemical Industry, Thailand Outlook 2019-21. Https://Www.Krungsri.Com/Bank/Getmedia/Ab0bcb7e-F3ba-42f5-929f-47ce1ce12bb4/IO_Petrochemicals_190626_EN_EX.Aspx.

8. Https://Www.Britannica.Com/Technology/Cracking-Chemical-Process#Ref1171908.

9. اقتصاديات الموارد والبيئة، مصطفي يوسف كافي

10. Https://Www.Aleqt.Com/2009/10/27/Article_293654.Html

11. Systematic Survey on Petrochemical Technology, National Museum of Nature and Science: Survey Reports on The Systemization of Technologies Vol.23 (March 2016).

12. الابتكار والإبداع " مفهوم الابتكار وعلاقته بالمفاهيم الأخرى" جامعة الإسراء، غزة. د. كمال المصري.

13. Industrial Process Scale-Up, A Practical Innovation Guide from Idea to Commercial Implementation, Second Edition, Jan Harmsen, 2019 Elsevier.

14. Generic Innovation Dynamics Across the Industrial Technology Life Cycle Platform Equation Modeling of Invention and Innovation Activity, Jainagesh A. Sekhar A, John P. Dismukes, Technological Forecasting & Social Change 76 (2009) 192–203.

15. دور الكائنات الحية الدقيقة في الصناعات الخميرية، جامعة تشرين، قسم علم الحياة النباتية.

16. T. Watanabe, Ed., "History of The Development of The Modern Japanese Industries 13: Chemical Industries (I)," Kojunsha, 1968.

17. T. Watanabe, Ed. "History of Postwar Japanese Chemical Industries," The Chemical Daily, 1973.

18. T. Iijima, "Japanese Chemical Technology," Kogyo Chosakai, 1981.

19. T. Takahashi, "History of The Chemical Industry," Sangyo Tosho, 1973.

20. "History of The Japanese Chemical Fiber Industry," Japan Chemical Fibers Association, Ed., Japan Chemical Fibers Association, 1974.

21. H. Uchida, "New Revised Edition: The Synthetic Fiber Industry," Toyo Keizai, 1970.

22. K. Fukushima, "Viscose Rayon (1), (2), (3)," Kagaku Kōgyō., Pp. 623-631, 711-719, 800-807, 1988.

23. I. Iwai, Polyfile., Vol. 52, 2013, Pp. 12-15.

24. H. Ōsuga, Journal of Packaging Science & Technology, Japan, Vol. 22, Pp. 254-261, 366-373, 2013.

25. "A 30-Year History of The Alcohol Monopoly," Ministry of International Trade and Industry, Chemical Industry Bureau, Alcohol Division, Ed., Fermentation Association of Japan, 1969.

26. “A 50-Year History of The Alcohol Monopoly Business,” Ministry of International Trade and Industry, Basic Industries Bureau, Ed., Japan Alcohol Association, 1987.

27. K. Kurono, “Alcohol and Anhydrous Alcohol,” Senbai Kyokai, 1937.

28. B. Katō, Ed., “The History of Alcohol in Japan: Its Industries and Technologies,” Kyowa Hakko Kogyo, 1974.

29. “A 50-Year History of Sanraku,” Sanraku History Compilation Office, Sanraku, 1986.

30. “History of Japanese Naval Fuel, I & II,” Fuel Society, Ed., Hara Shobo, 1972.

31. T. Kume, “Early Polyethylene Production in Japan,” Journal of The Society of High-Pressure Gas Industry, Vol. 21, Pp. 274-281, 1957.

32. “20th-Century Japanese Chemistry Technology,” The Japanese Society for The History of Chemistry, Ed., The Japanese Society for The History of Chemistry, 2004.

33. Technologies That Will Disrupt the Petrochemical Industry, 2017 Https://Www.Scbeic.Com/En/Detail/Product/3862.

34. The Story of An Industry That Shaped Our Past, Improves Our Present and Builds Our Future, Petrochemicals & Epca A Passionate Journey,2016.

35. R. Guglielmo, “La Pétrochimie Dans Le Monde (Petrochemistry In the World),” M. Kadota, Trans. Que Sais-Je Collection, Hakusuisha, 1963.

36. Y. Kawase, “The Petrochemical Industry in The World,” Saiwai Shobo, 1964.

37. T. Takahashi, “The History of The Chemical Industry,” Sangyo Tosho, 1973.

38. F. Aftalion, “A History of The International Chemical Industry,” H. Yanagita, Trans. Nikkei Science, 1993.

39. P. Spitz, “Petrochemicals: The Rise of An Industry,” Wiley, 1988.

40. A. Takehara, “Captivated by Plastics Culture and Design,” Kojinsha, 1994.

41. L. Frost, “Revisiting the First Cracker, In West Virginia, As Shale Rekindles Interest,” IHS Chemical Week, September 9, 2014.

42. T. Watanabe, “The Petrochemical Industry (1st Ed.),” Iwanami Shoten, 1966.

43. “Ten-Year History of The Petrochemical Industry,” Japan Petrochemical Industry Association, Ed., Japan Petrochemical Industry Association, 1971.

44. “Twenty-Year History of The Petrochemical Industry,” Japan Petrochemical Industry Association, Ed., Japan Petrochemical Industry Association, 1981.

45. “Thirty-Year History of The Petrochemical Industry,” Japan Petrochemical Industry Association, Ed., Japan Petrochemical Industry Association, 1989.

46. “Fifty Years of Petrochemistry—The Half-Century Timeline,” Japan Petrochemical Industry Association, Ed., Japan Petrochemical Industry Association, 2008.

47. “Plastic Production, Waste, Recycling, And Disposal Statistics For 2013,” Plastic Waste Management Institute.

48. “History of High-Pressure Polyethylene” Japan Petrochemical Industry Association, Ed., Japan Petrochemical Industry Association, 1998.

49. Https://Www.Lummustechnology.Com/Process-Technologies/Petrochemicals/Ethylene-Production/Pyrolysis-Steam-Cracking.

50. Emerson Process Management, Https://Www.Emerson.Com/Documents/Automation/Manuals-Guides-Chemical-Sourcebook-Chapter-1-2-Ethylene-Production-Polysilicone-Production-Fisher-En-138242.Pdf.

51. Modelling Coke Formation in An Industrial Ethane-Cracking Furnace for Ethylene Production, The Canadian Journal of Chemical Engineering, Volume: 98, Issue: 1, Pages: 158-171, First Published: 05 August 2019. Https://Onlinelibrary.Wiley.Com/Doi/10.1002/Cjce.23619.

52. SHOP, Shell Higher Olefins Process, Kamila Stefańska, 2009.

53. Https://Www.Refiningandpetrochemicalsme.Com/Article-10436-Sabic-And-Linde-Technology-Used-By-Russian-Plant.

54. The Future of Petrochemicals, Towards More Sustainable Plastic And Fertilizers, International Energy Agency, OECD/IEA, 2018.

55. Bennett, S. And T. Stanley (2018), Commentary: US Budget Bill May Help Carbon Capture Get Back on Track, Www.Iea.Org/Newsroom/News/2018/March/Commentary-Us-Budget-Bill-Mayhelp-Carbon-Capture-Get-Back-On-Track.Html (Accessed 6 June 2018).

56. Bozsaky, D. (2011), "The Historical Development of Thermal Insulation Materials", Periodicapolytechnica Architecture, Vol. 41/2, P. 49-56, Https://Doi.Org/10.3311/Pp.Ar.2010-2.02.

57. Dai, Q., J. Kelly And A. Elgowainy (2016), Vehicle Materials: Material Composition of U.S. Lightdutyvehicles, Https://Greet.Es.Anl.Gov/Files/Light-Duty-Vehicle-2016.

58. Dutch Government Parties Coalition (2017), Confidence in The Future,

59. Www.Government.Nl/Documents/Publications/2017/10/10/Coalition-Agreement-Confidencein-The-Future (Accessed 6 June 2018).

60. European Bioplastics (2018), Bioplastic Materials, Www.Europeanbioplastics.

Org/Bioplastics/Materials/ (Accessed 6 June 2018).

61. FAO (Food and Agriculture Organization of The United Nations) (2018), Data; Synthetic Fertilizers, Www.Fao. Org/Faostat/En/#Data/GY (Accessed 6 June 2018).

62. Fischbeck, M. Et Al. (2014), "Industry", In Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change.

63. Contribution of Working Group III to The Fifth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change, Www.Ipcc.Ch/Pdf/Assessmentreport/ Ar5/Wg3/Ipcc_Wg3_Ar5_Chapter10.Pdf.

64. German Government (2012), Gesetz Zur Demonstration der Dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid (Kohlendioxid-Speicherungsgesetz - Kspg), Www.Gesetze-Iminternet.De/Kspg/Kspg.Pdf.

65. Global CCS (Carbon Capture and Storage) Institute (2018), Large-Scale CCS Facilities, Www.Globalccsinstitute. Com/Projects/Large-Scale-Ccs-Projects (Accessed 6 June 2018).

66. Global Methane Initiative (2011), Landfill Methane: Reducing Emissions, Advancing Recovery and Use Opportunities, Www.Globalmethane.Org/Documents/Landfill_Fs_Eng.Pdf.

67. IEA (International Energy Agency) (2016a), World Energy Outlook Special Report: Energy and Air Pollution, OECD/IEA, Paris.

68. IEA (2016b), World Energy Outlook Special Report: Water Energy Nexus, OECD/IEA, Paris.

69. Irlam, L. (2017), Global Costs of Carbon Capture and Storage, Global CCS Institute,Https://Hub.Globalccsinstitute.Com/Sites/Default/Files/Publications/201688/Global-Ccs-Costupdatev4. Pdf.

70. Jambeck, J.R. Et Al. (2015), "Plastic Waste Inputs from Land into The Ocean", Science, Vol. 347/6223, P. 768-771, Https://Doi.Org/10.1126/Science.1260352.

71. Lebreton, L. Et Al. (2018), "Evidence That the Great Pacific Garbage Patch Is Rapidly Accumulating Plastic", Scientific Reports, Vol. 8/1, Https://Doi.Org/10.1038/S41598-018-22939-W.

72. Mcdonald, B.C. Et Al. (2018), "Volatile Chemical Products Emerging as Largest Petrochemical Source of Urban Organic Emissions", Science, Vol. 359/6377, P. 760-764,Https://Doi.Org/10.1126/Science.Aaq0524.

73. R&D Challenges and Solutions for OGP Downstream Industries, Technology Development ABB Lummus Global Inc.

74. An Analysis of Innovation in Oil & Gas Projects, Mahmood Rahimi, Calgary, Alberta, Canada. Accepted for Publication in The Project Management Journal, December 2017.

75. Innovation Policy of European Chemical Companies with Special Focus on Large Companies, Supriyo Das, Ignasi Brunet Icart, 2015.

76. Innovation in The Chemical Industry, Co-Branded Report Issued by Stratly And the Gulf Petrochemicals & Chemicals Association (GPCA) March 2014.

77. Unlocking Open Innovation in The GCC Chemical Industry.

78. Https://Www.Gpic.Com/AR/Media/Pressreleases/2017/Gpcaresearchinnovsummit.Aspx.

79. Https://Www.Zawya.Com/Mena/Ar/Story/

80. The GCC in 2020: Downstream Expansion of The Middle East Chemical Industry, REACTION, Chemical Magazine / Fifth Edition.

81. Https://Www.Kfas.Com/Ar/Media/News/Newsdetail?Id=B48a1ac0-E920-4b9c-9646-E18a042c0f4b#Seccontent.

82. Https://Www.Aleqt.Com/2020/02/16/Article_1763906.Html.

83. واقع البحث العلمي في الدول النامية مقارنة بالدول المتقدمة في توطين التكنلوجيا، مجلة كلية التربية الأساسية للعلوم التربوية والإنسانية / جامعة بابل كانون أول / 2016 م.

84. Http://Www.Avianik.Com/En/Articles/Services/Additive%20technology/3d_ABS/?Print=1.

85. 4 Technologies That Will Disrupt the Petroleum Industry, Nattanan Apinunwattanakul, August 2017.

86. Crude Oil to Chemicals Industry Development and Strategic Implications, Dr. RJ Chang, Process Economics Program, Oil, Mid-Downstream and Chemical, His, 22 March 2018.

87. From Technology Adopters to Innovators .How R&D Can Catalyze Innovation in Middle East National Oil Companies, Strategy& Is Part of The Pwc Network,2016

88. Https://Www.Statista.Com/Statistics/1079313/Research-Development-Spending-Chemical-Industry-Leading-Countries/.

89. GCC Chemicals Industry Innovation Indicators 2016.

90. Polyolefin R&D Defining the New Frontiers for Petrochemical Industry, Antti Tynys, “Latest Advancements in Refining and Petrochemical Industries" OAPEC Conference, Bahrain,2016.

91. https://www.globenewswire.com/news.

92. 92 https://docplayer.ae/176535559-

The Role of Scientific Research in Developing the Petrochemical Industry

Abstract:

Petrochemical industry is heavily innovation driven due to its cost-oriented nature. Innovation is the key for the petrochemical companies to gain high profitability. There are several applications and approaches of innovation, open Innovation is one of the state-of-the-art approaches.

Scientific research contributes to the progress and renaissance of the global petrochemical industry from it begins until now. The global petrochemical industry faces many challenges such as the lack of availability of low-cost raw materials, the volatility of oil prices, which affects directly the global petrochemical market, in addition to exit of some traditional petrochemical products from competition in the market due to the high cost of the primary raw materials, which leads to low profit margin.

The study focusses on the important role of the scientific research and development activities in developing the production technology, and how to provide alternatives to primary raw materials with competitive prices, which has contributed to changing the global petrochemical industry landscape. There are more pressures on international petrochemical companies to develop and improve product specifications to meet the requirements and desires of consumers.

منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول

أوابـك