بسم الله الرحمن الرحيم

الكيمياء الخضراء

نص تمهيدي

Green Chemistry
AnIntroductiory Text

تأليف

مايك لانكاستر

Mike Lancaster

ترجمة

أ.د. محمود بن أحمد سليم الدين منشي

أستاذ الكيمياء غير العضوية- قسم الكيمياء

كلية العلوم – جامعة الملك سعود

النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ - المملكة العربية السعودية

ح جامعة الملك سعود، ١٤٣٠هـ (٢٠٠٩م)

هذا ترجمة عربية مصرح بها من مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Green Chemistry: An Introductory Text

By: Mike Lancaster

©The Royal Society of Chemistry 2002.

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

لانكاستر ، مايك

الكيمياء الخضراء نص تمهيدي. /مايك لانكاستر ؛ محمود أحمد سليم الدين منشي .— الرياض ، ١٤٣٠هـ

٥٣١ ص ؛ ١٧ × ٢٤سم

ردمك: ٠- ٤٤٤- ٥٥- ٩٩٦٠- ٩٧٨

١- الكيمياء أ.منشي ، محمود أحمد سليم الدين (مترجم)

ب. العنوان

ديوي ٦١٦,٢ ١٤٣٠/١٩١٨

رقم الإيداع: ١٤٣٠/١٩١٨

ردمك: ٠- ٤٤٤- ٥٥- ٩٩٦٠- ٩٧٨

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة، شكلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق المجلس العلمي على نشره - بعد اطلاعه على تقارير المحكمين - في اجتماعه الثالث عشر للعام الدراسي ١٤٢٨/١٤٢٩هـ المعقود بتاريخ ١٤٢٩/٣/٢٢هـ الموافق ٢٠٠٨/٣/٣٠م.

النشر العلمي والمطابع ١٤٣٠هـ

مقدمة المترجم

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله سيدنا محمد بن عبد الله وعلى آله وصحبه وسلم...

إن من يراقب تطور مملكتنا الحبيبة فقد يصيبه الذهول من السرعة المضطردة في هذه التطور وفي جميع المجالات وإني كمواطن أشعر بالغبطة والسرور ولكني ككيميائي أعمل في هذا المجال لمدة عقود وأتابع من قرب ومن بعد التطور الهائل والنمو المستمر في المجال الصناعي خصوصاً تلك الصناعات الكيميائية حيث توجد بعض أكبر الشركات الصناعية في العالم وكذلك من وجهة نظر الأكاديمي الذي يعنى بشئون السلامة في استخدام المواد الكيميائية، أجد نفسي قلقاً جداً على بيئتنا الحبيبة بالرغم من أن هناك جهات رسمية على أعلى المستويات لمراقبة التلوث البيئي بشكل مستمر وعلمي إلا أنه يجب بذل المزيد من الجهود لضبط التلوث البيئي دون عرقلة التطوير الذي نحتاجه وبشكل ملح.

كثيراً ما أتصفح كتباً حديثة في مجال تخصصي الدقيق وفي الموضوعات العامة في علم الكيمياء إلا إن هذا الكتاب الذي بين أيديكم يختلف كليةً عن كل ما قرأت

فهو يقوم بمعالجة موضوع حساس هو موضوع الساعة، ألا وهو محاولة السيطرة والتقليل من عوامل التلوث البيئي والذي تعقد المؤتمرات والندوات من أجله.

لقد اختار المؤلف عنواناً لكتاب قد يبدو غريباً للوهلة الأولى ولكن بعد قراءة الكتاب سيتضح المعنى الذي رمى إليه المؤلف والعنوان هو " الكيمياء الخضراء" وهو هنا لا يعني اللون بقدر ما يعني ما تمثلة الخضرة من دلالة على نقاء البيئة وحث على أن تعم الخضرة كرتنا الأرضية.

لقد عرض الكتاب ووضح كل المفاهيم التي تساعد على تحقيق الهدف الذي تقدم آخذاً في الاعتبار أن المضي قدماً هو ما نسعى إليه ولن نستطيع التوقف ولكن يجب أن يكون تطورنا عقلانياً ولا يجب أن يكون أنانياً. إن استخدام المواد واستنفزاها بما يزيد عن حاجتنا يعد إساءة في حق الأجيال القادمة ليس هذا فحسب بل وعاملاً مسرعاً في تلوث البيئة. إن ما اتطلع إليه بعد الانتهاء من ترجمة هذا الكتاب هو أن يطلع عليه كل من يعمل في هذا المجال ويكون الحكم على نفسه في تحقيق مبادئ الكتاب وأن هذا هو السبيل الوحيد للمساهمة في نظافة البيئة والمحافظة عليها بحيث نعيش أمنين مطمئنين على أنفسنا بمشيئة الله ثم على الأجيال القادمة من بعدنا، وإن المكاسب السريعة والكبيرة مع إغفال الجانب البيئي قد لا تكون منصفة لمن نحب وللبلد الذي نعيش على أرضه ونستظل به.

المترجم

مقدمة المؤلف

تتوافر العديد من النصوص لتعليم الكيميائيين المبادئ الأساسية لهذا العلم، لكن القليل منها مصمم لإيضاح ما يتعلق بالإبحاث الصناعية المستقبلية والتطوير الذي يحتاجه الكيميائيين للمساهمة بكل ثقة لتطوير التقنية الكيميائية الآمنة بيئياً. يهدف هذا الكتاب بأن يكون مساعداً أولياً للكيميائيين لتطوير طرق ومنتجات جديدة للقرن الحادي والعشرين، والذي يلبي حاجة المجتمع الصارمة الماسة لمنتجات جديدة ذات أداء متطور، مع تكلفة بسيطة وقليلة العبء على البيئة.

إن المفاهيم التي نوقشت في هذا الكتاب والتي تتضمن تقليل النفايات، والمخزون والمؤشرات الخضراء؛ لتصميم خطوات آمنة وأكثر دقة مع إيضاح الدور الذي تلعبه كل من المواد المحفزة والمذيبات، بأسلوب سهل الغرض منه التعليم وليس التعقيد. كثير من الأمثلة المتعلقة بالصناعة قد ضمنت في السياق وجمعت في الفصل التاسع تحت عنوان دراسات النماذج الصناعية. ولو أن هذه الدراسات قد أخذت من قطاعات مختلفة من الصناعة الكيميائية ولكني وإلى حد بعيد اعتمدت على أبحاثي الخاصة وخبرتي في تطوير الخطوات من كل الشركات الكيميائية وإلى حد بعيد؛ وذلك لكتابة نصوص تكون ذات قيمة حقيقية لكل الكيميائيين الممارسين.

الكيمياء الخضراء قد تعني أشياء مختلفة لشرائح مختلفة: فهناك جدل من قبل البعض بأنه لايحق للكيميائيين والكيميائيين الصناعيين تطويع هذا المصطلح لمصالحهم. وهناك شريحة من الجانب الآخر كأفراد أو شركات ترى مصطلح "خضراء" كوسيلة لإنتاج أشياء مختلفة بمكاسب كبيرة ولكنهم يبذلون جهداً قليلاً لعمل التغيير المناسب لتحقيق التنمية المستدامة. وجهة نظري الخاصة هي وسط بين الشريحتين ويمكن تلخيصها بشكل مبسط. يلزمنا كمجتمع أن نستخدم كل مهاراتنا وذكائنا لتطوير المنتجات وكذلك تطوير الخطوات التي تلبي احتياجاتنا فيما يتعلق بالتنمية المستديمة والآمنة بيئياً بقدر الإمكان. لا يجب أن تكون الكيمياء الخضراء هي كل ما يتعلق بالحصول على منتجات بمواصفات سيئة أو استخدام الحلول الآتية والجاهزة لمجرد تمريرها بيئياً ولكنها يجب أن تكون حول استخدام مصادرنا لإنتاج المواد التي نريدها بأقل قدر من الأثار السلبية على بيئتنا وعالمنا. قد يكون هناك ثمن يدفع ولكن المبدعين "علماء الكيمياء الخضراء" سيصممون بالتأكيد منتجات وخطوات فعالة مربحة مربحة، مع وضع خطوط تحت المربحة وهي الآن تلاحق من قبل القطاع الصناعي.

على الرغم من أن محتويات هذا الكتاب قد صممت لمجموعة الطلاب الجامعيين ومقررات الماجستير لبرنامج تقنية الكيمياء النظيفة في جامعة يورك، ولكنها قد تكون مفيدة للكيميائيين الصناعيين، والمهندسين وكذلك الإداريين الراغبين في معرفة الكيمياء الخضراء. حيث إن الكيمياء الخضراء تغطي معظم الكيمياء والهندسة الكيميائية لذا فإنه لا يمكن تضمين هذا الكتاب بهذا الحجم تفاصيل كثيرة أو متعمقة،

أو حتى كتباً عديدة من هذا الحجم. يمكن قراءة هذا الكتاب على مستويين. **المستوى الأول** هو لمعرفة القواعد والأسس أو الخلفيات لكل الموضوعات والتي عرضت هنا والتي يمكن أن تفهم من قبل الهواة. **المستوى الثاني** فهو للكيميائيين الأكثر فهماً حيث سيتمكنون من استخدام خلفياتهم للفهم الكامل والمتعمق للمعلومات الملخصة هنا.

لإبقاء الكتاب في صورته البسيطة، فإن المراجع لأدبيات الموضوع قد وضعت في فصل الدراسات الصناعية. فلقد اقترحت قراءات إضافية والتي ستعطي معلومات متعمقة لكل المفاهيم المعطاة، كما تغطي بعض موضوعات الكيمياء الخضراء الخاصة بشكل مفصل. إن الاقتراحات المعطاة قد رتبت متفقة مع ترتيب الموضوعات التي تم التعامل معها في النص. تضمن نهاية كل فصل أسئلة للمراجعة وهي ليست لاختبار المعلومات ولكن وضعت لتشجيع القارئ للتفكير وتطبيق المفاهيم على أي موقف جديد.

ساهم الكثير من الناس في حماستي من أجل ذلك وكذلك فهمي للكيمياء الخضراء، وأخص بالذكر الأعضاء العاملين في شبكة الكيمياء الخضراء والذين ساندوني في السنوات الثلاث الأخيرة. الشكر الخاص لمستحقه جميس كلارك، الذي بالإضافة إلى تقديمي لهذا المجال فهو الذي أقنع الجمعية الملكية للكيمياء لدعم شبكة الكيمياء الخضراء (GCN) وكذلك مجلة الكيمياء الخضراء. والشكر أيضاً للمنظمات المماثلة لـ (GCN) الموجودة خارج المملكة المتحدة، خاصة في الولايات المتحدة الأمريكية واليابان وإيطاليا، الذين ساهموا بشكل كبير لرفع الفهم العالمي وكذلك تطوير تقنية الكيمياء الخضراء. ولو أنه من غير المنصف اختيار شخص بعينه ساهم في

متابعة مبادئ الكيمياء الخضراء، لكن من عدم الإنصاف أن لا أذكر بول أناستاس الذي كان سفيراً عالمياً رائعاً. أخيراً فالشكر الخاص لزوجتي جيل ليس من أجل تفهمها إثناء مراحل الكتابة ولكن من أجل مراجعتها معظم النص وتقديم اقتراحاتها البنّاءة من وجهة نظر المهندسين الكيميائيين.

مايك لانكاستر

يورك، فبراير ٢٠٠٢

قائمة المختصرات المستخدمة في المتن
Abbreviations Used in Text

٢٠- هيدروكسي سيديسون	20- E
خلية تعمل بالوقود القلوي	AFC
أمينو بروبيل السيلان	AMPS
ألكيل بولي جليكوسيد	APG
أفضل تقنية متوفرة دون استلزام التكلفة المفرطة	BATNEEC
بس(٢-هيدروكسي إيثيل) التيرفيثالات	BHT
طلب الأكسجين الحيوي	BOD
معهد المقاييس البريطاني	BSI
سائل قشر جوز الكاجو (البلاذر الأمريكي)	CNSL
طلب الأكسجين الكيميائي	COD
السيطرة على المواد الضارة بالصحة	COSHH
مفاعل صهريج مقلب باستمرار	CSTR
٥- أمينو حمض الليفولينك	DALA
ثنائي ميثيل الفورماميد	DMF
وكالة البيئة	EA

فرط تماثل الأجزاء (التركيب)	ee
الإدارة البيئية الأوروبية وخطة التدقيق	EMAS
نظام إدارة البيئة	EMS
حاصل الكتلة الفعالة	EMY
٥- إيثيليدين-٢-نوربورنين	ENB
أكسيد الإيثين (اكسيد الإيثيلين)	EO
وكالة حماية بيئة الولايات المتحدة	EPA
مونومر دايين/ بروبين/ إيثين	EPDM
التكسير بالحفز السائب (السائل)	FCC
إحتمال ارتفاع درجة حرارة العالم	GWP
الخطر وإمكانية معالجته	HAZOP
بولي إيثين عالي الكثافة	HDPE
توازن ألفة (محبة) الماء وألفة الدهون	HLB
سيلكا متوسطة المسام سداسية الأضلاع	HMS
السيطرة المتكاملة على التلوث	IPC
فعل السيطرة المتكاملة على التلوث	IPCA
المنع والسيطرة المتكاملة على التلوث	IPPC
تصميم آمن متأصل	ISD
الهيئة العالمية للقياس (المعايرة)	ISO
تقييم دورة الحياة	LCA
بولي إيثين خطي الكثافة	LDPE

قائمة المختصرات المستخدمة في المتن

بولي إيثين منخفض الكثافة خطي	LLDPE
أيزوسيانات الميثيل	MIC
ميثيل ثالثي- بيوتيل الأثير	MTBE
الأشعة تحت الحمراء- القريبة	NIR
خلية تعمل بوقود حمض الفوسفوريك	PAFC
خلية وقود غشاء تبادل بروتوني	PEMFC
فوق كلورو الإيثين	perc
بولي إيثين التيرفيثالات	PET
كشف متابعة العملية	PFS
بولي هيدروكسي ألكونات	PHA
تقوية العملية	PI
حمض خل عديد	PLA
المادة الملوثة العضوية المستديمة	POP
جزء في المليون	ppm
حفز نقل الطور (الصنف)	PTC
بولي رباعي فلوروالإيثين	PTFE
فلطائية ضوئية	PV
بولي كلوريد الفينيل	PVC
التوسع السريع لمحلول فوق الحرج	RESS
كتلة جزيئية نسبية	RMM
ثاني اكسيد الكربون فوق الحرج	scCO2

سائل فوق الحرج	SCF
أكسدة ماء فوق الحرج	SCWO
مفاعل القرص الدوار	SDR
الصحة، الأمان والبيئة	SHE
خلية وقود أكسيد صلب	SOFC
رباعي هيدروالفيوران	THF
طلب الأكسجين النظري	THOD
تتراكس (هيدروكسي ميثيل) الفوسفونيوم	THP
الأطنان لكل سنة	tpa
سيلكات التيتانيوم	TS
رباعي ثيا الفولفلين	TTF
٤- فينيل الهكسان الحلقي	VCH
٥- فينيل-٢- نوربونين	VNB
مركبات عضوية متطايرة	VOCs
تفلور الأشعة السينية	XRF

المحتويات

مقدمة المترجم ..... هـ

مقدمة المؤلف ..... ز

قائمة المختصرات المستخدمة في المتن ..... ك

الفصل الأول : مبادئ ومفاهيم الكيمياء الخضراء

(١,١) المقدمة ١

(١,٢) التطوير المستمر والكيمياء الخضراء ٤

(١,٣) اقتصاد الذرة ٨

(١,٤) تفاعلات اقتصادية الذرة ١٢

(١,٤,١) تفاعلات إعادة الترتيب ١٢

(١,٤,٢) تفاعلات الإضافة ١٥

(١,٥) التفاعلات غير اقتصادية الذرة ١٩

(١,٥,١) تفاعلات الاستبدال ١٩

(١,٥,٢) تفاعلات النزع ٢١

(١,٥,٣) تفاعلات ويتيج ٢٢

(١,٦) تخفيض السمية ٢٣
(١,٦,١) قياس السمية ٢٧
(١,٧)أسئلة مراجعة..... ٣٠
(١,٨) قراءة أضافية ٣١

الفصل الثاني : النفاية: الإنتاج، المشاكل والوقاية

(٢,١) المقدمة ٣٣
(٢,٢)بعض المشاكل التي تسببها النفاية ٣٦
(٢,٣) مصادر النفاية من الصناعة الكيميائية ٣٨
(٢,٤) تكلفة النفاية..... ٤٥
(٢,٥) تقنيات الحد من النفايات ٤٩
(٢,٥,١) منهج الفريق للحد من النفايات..... ٥٠
(٢,٥,٢) تصميم عملية لخفض النفاية..... ٥٢
(٢,٥,٣) خفض النفاية من العمليات الموجودة ٥٧
(٢,٦) معالجة النفاية في الموقع ٥٩
(٢,٦,١) المعالجة الفيزيائية..... ٦١
(٢,٦,٢) المعالجة الكيميائية..... ٦٣
(٢,٦,٣) وحدات المعالجة الحيوية ٦٨
(٢,٧) التصميم لعملية التحلل ٧١
(٢,٧,١) التحلل ومخفضات التوتر السطحي..... ٧١

(٢,٧,٢) دي دي تي ٧٣
(٢,٧,٣) البوليمرات..... ٧٤
(٢,٧,٤) بعض القواعد للتحلل ٧٧
(٢,٨) إعادة تدوير البوليمر ٧٨
(٢,٨,١) الفصل والتصنيف..... ٧٩
(٢,٨,٢) الترمد (الحرق)..... ٨٢
(٢,٨,٣) إعادة التدوير الميكانيكي..... ٨٣
(٢,٨,٤) إعادة التدوير الكيميائي للمونومرات ٨٦
(٢,٩) أسئلة مراجعة..... ٩١
(٢,١٠) قراءة إضافية ٩١

الفصل الثالث : القياس والتحكم في الأداء البيئي

(٣,١) أهمية القياس..... ٩٣
(٣,١,١) إنتاج حمض اللاكتيك ٩٥
(٣,١,٢) جازولين أكثر أماناً ٩٨
(٣,٢) مقدمة لتقييم دورة الحياة ١٠٠
(٣,٣) مصفوفات العملية الخضراء ١١٠
(٣,٤) أنظمة الإدارة البيئية ١١٥
(٣,٤,١) أيزو ١٤٠٠١..... ١١٦
(٣,٤,٢) الإدارة البيئية الأوروبية ومخطط التدقيق ١٢١

(٣,٥) العلامات المميزة ١٢٤
(٣,٦) التشريع ١٢٥
(٣,٦,١) المنع والتحكم المتكامل في التلوث ١٢٦
(٣,٧) أسئلة مراجعة ١٣٠
(٣,٨) قراءة إضافية ١٣١

الفصل الرابع : الحفز والكيمياء الخضراء

(٤,١) مقدمة إلى الحفز ١٣٣
(٤,١,١) مقارنة أنواع الحفازات ١٣٦
(٤,٢) حفازات غير متجانسة ١٣٩
(٤,٢,١) أساسيات(قواعد) الحفز غير المتجانس..... ١٤٠
(٤,٢,٢) الزيوليتات وصناعة الكيماويات الضخمة ١٤٤
(٤,٢,٣) حفز غير متجانس في الصناعات الصيدلانية والكيميائية الدقيقة ١٥٦
(٤,٢,٤) محولات حفزية ١٧٠
(٤,٣) حفازات متجانسة..... ١٧٣
(٤,٣,١) حفازات العناصر الانتقالية مع ليجاندات فوسفين ١٧٤
(٤,٣,٢) أحماض لويس الخضراء ١٨٠
(٤,٣,٣) حفز لا متماثل ١٨٢
(٤,٤) حفز انتقال الطور ١٨٩
(٤,٤,١) تقليل الخطر ١٩٢

(٤,٤,٢) تكوين الرابطة الكربون –كربون ١٩٣
(٤,٤,٣) الأكسدة باستعمال فوق أكسيد الهيدروجين ١٩٤
(٤,٥) الحفز الحيوي ١٩٧
(٤,٦) الحفز الضوئي ٢٠٢
(٤,٧) الخلاصة ٢٠٤
(٤,٨) أسئلة مراجعة ٢٠٤
(٤,٩) قراءة إضافية ٢٠٥

الفصل الخامس : مذيبات عضوية: محاليل معتدلة بيئياً

(٥,١) المذيبات العضوية والمركبات العضوية المتطايرة..... ٢٠٧
(٥,٢) أنظمة بدون مذيب ٢١١
(٥,٣) سوائل فوق الحرجة ٢١٥
(٥,٣,١) ثاني أكسيد الكربون فوق الحرج ٢١٩
(٥,٣,٢) الماء فوق الحرج ٢٣٧
(٥,٤) الماء كمذيب التفاعل ٢٣٩
(٥,٤,١)طلاءات معتمدة على الماء ٢٤٧
(٥,٥) سوائل أيونية..... ٢٤٨
(٥,٥,١) سوائل أيونية كحفازات..... ٢٥١
(٥,٥,٢) السوائل الأيونية كمذيبات ٢٥٣
(٥,٦) المذيبات ثنائية الطور الفلورية ٢٥٨

(٥,٧) الخلاصة ٢٦١
(٥,٨) أسئلة مراجعة ٢٦٣
(٥,٩) قراءة إضافية ٢٦٤

الفصل السادس : الموارد المتجددة

(٦,١) الكتلة الحيوية كموارد متجددة ٢٦٥
(٦,٢) الطاقة ٢٦٦
(٦,٢,١) محروقات أحفورية ٢٦٦
(٦,٢,٢) الطاقة من الكتلة الحيوية ٢٧١
(٦,٢,٣) الطاقة الشمسية ٢٧٩
(٦,٢,٤) صور أخرى للطاقة المتجددة ٢٨٣
(٦,٢,٥) خلايا (غلفانية) تعمل بالوقود ٢٨٤
(٦,٣) كيماويات من مخزونات التغذية المتجددة ٢٩٤
(٦,٣,١) كيماويات من أحماض دهنية ٢٩٧
(٦,٣,٢) البوليمرات من الموارد المتجددة ٣١١
(٦,٣,٣) بعض الكيماويات الأخرى من الموارد الطبيعية ٣٢١
(٦,٤) الاقتصاديات البديلة ٣٢٨
(٦,٤,١) اقتصاد السنغاز ٣٢٩
(٦,٤,٢) المصفاة الحيوية ٣٣١
(٦,٥) الاستنتاج ٣٣٢

(٦,٦) أسئلة مراجعة ٣٣٣
(٦,٧) قراءة إضافية ٣٣٤
الفصل السابع : التقنيات المتصاعدة الأكثر اخضراراً ومصادر الطاقة البديلة
(٧,١) التصميم لكفاءة الطاقة ٣٣٥
(٧,٢) التفاعلات الفوتوكيميائية ٣٤٠
(٧,٢,١) المزايا والتحديات المواجهة بواسطة عمليات فوتوكيميائية ٣٤١
(٧,٢,٢) أمثلة لتفاعلات فوتوكيميائية..... ٣٤٦
(٧,٣) استعمال الميكروويف في الكيمياء ٣٥١
(٧,٣,١) تسخين بالميكروويف ٣٥٢
(٧,٣,٢) تفاعلات بمساعدة الميكروويف..... ٣٥٤
(٧,٤) الكيمياء الصوتية..... ٣٥٩
(٧,٤,١) الكيمياء الصوتية والكيمياء الخضراء ٣٦٢
(٧,٥) التشييد الكهروكيميائي ٣٦٥
(٧,٥,١) أمثلة على التشييد الكهروكيميائي ٣٦٧
(٧,٦) الخلاصة ٣٧٢
(٧,٧) أسئلة مراجعة ٣٧٢
(٧,٨) قراءة إضافية ٣٧٤
الفصل الثامن: تصميم العمليات الأكثر اخضراراً
(٨,١) المفاعلات التقليدية ٣٧٦

(٨,١,١) مفاعلات الدفعة الواحدة ٣٧٦
(٨,١,٢) المفاعلات المستمرة ٣٨١
(٨,٢) تصميم أكثر أماناً أصلاً (ISD) ٣٨٥
(٨,٢,١) تخفيض إلى أدنى حد ٣٨٨
(٨,٢,٢) تبسيط ٣٩٠
(٨,٢,٣) الاستبدال ٣٩١
(٨,٢,٤) التلطيف (التهدئة) ٣٩٢
(٨,٢,٥) القيود (الحدود) ٣٩٣
(٨,٣) تقوية العملية ٣٩٥
(٨,٣,١) بعض تجهيزات تقوية العملية ٣٩٨
(٨,٣,٢) أمثلة عن العمليات التقوية ٤٠٣
(٨,٤) المراقبة داخل العملية ٤٠٧
(٨,٤,١) مطيافية الأشعة تحت الحمراء- القريبة ٤١١
(٨,٥) أسئلة مراجعة ٤١٣
(٨,٦) قراءة إضافية ٤١٤

الفصل التاسع : دراسات الحالة الصناعية

(٩,١) طيف ساطع من اللون الإخضر ٤١٥
(٩,٢) إضفاء خضرة على صناعة حمض الخل ٤١٩
(٩,٣) مطاطات EPDM ٤٢٥

(٩,٤) فيتامين سي..... ٤٣٠
(٩,٥) صناعة الجلد..... ٤٣٣
(٩,٥,١) الدباغة..... ٤٣٦
(٩,٥,٢) المعالجة بسائل دهني (تشحيم دهني)..... ٤٤١
(٩,٦)لتكون الصباغة خضراء..... ٤٤٢
(٩,٦,١) بعض تحسينات التصنيع والمنتجات ٤٤٤
(٩,٦,٢) تطبيق الصبغة ٤٤٨
(٩,٧) البولي إيثيلين..... ٤٤٩
(٩,٧,١) عملية الجذر..... ٤٤٩
(٩,٧,٢) حفز زيجلر- ناتا ٤٥١
(٩,٧,٣) حفز الميتالوسين ٤٥٣
(٩,٨) مبيدات صديقة للبيئية – ECO..... ٤٥٦
(٩,٨,١) المبيدات الحشرية..... ٤٥٧
(٩,٩) أسئلة مراجعة..... ٤٦١
(١٠,١٠) المراجع ٤٦١

الفصل العاشر: المستقبل الأخضر: المنهج المتكامل إلى صناعة كيميائية خضراء

(١٠,١) المجتمع والاستمرارية..... ٤٦٣
(١٠,٢) الموانع والحوافز ٤٦٤
(١٠,٣) دور التشريع ٤٦٧

(١٠,٣,١) البيان الأبيض للاتحاد الأوروبي على سياسة الكيماويات ٤٧١
(١٠,٤) استراتيجيات التجهيز الكيميائي الخضراء ٤٧٣
(١٠,٥) الاستنتاجات..... ٤٧٧
(١٠,٦) أسئلة مراجعة ٤٧٨
(١٠,٧) قراءة إضافية ٤٧٨
ثبت المصطلحات
أولاً : عربي- إنجليزي ٤٨١
ثانياً: إنجليزي- عربي ٥٠٠
كشاف الموضوعات ٥١٩