I- مدخل تمهيدى

١- الخامات البترولية :

أهم النظريات المقبولة بشأن تكون الخامات البترولية، تقوم على أن النباتات والأشجار التي كانت موجودة على سطح الأرض منذ نشأتها، أى منذ ملايين السنين، قد دفنت بفعل العوامل الجوية وتحرك طبقات الأرض. بذلك ظلت تحت ضغط وحرارة مرتفعين، ومع مرور الوقت تحولت إلى خامات بترولية تتشابه مع أنواع من المركبات الشمعية الموجودة على أسطح أوراق النباتات وغيرها من الألياف السيلولوزية، خاصة التى من الأنواع البحرية والتى كانت على أسطح قاع البحار والمحيطات.

وحالياً تقدر كميات الخامات البترولية من الاحتياطى المؤكد وجوده فى جوف الكرة الأرضية، سواء فى المناطق البرية أو البحرية، بإجمالى كمية ١٤٠٠ تريليون طن مترى، وطبقاً لمعدلات الاستهلاك الحالية أو المتوقعة مستقبلاً فإن ذلك الاحتياطى المؤكد سيكون كافياً لفترة تزيد عن ٤٣ عاماً، أو إلى ما بعد منتصف القرن الواحد والعشرين بعدة سنوات.

هذا وقد تم حفر أول بئر لاستخراج الخام البترولى منذ أكثر من ١٥٠ عاماً، وكان ذلك فى ولاية بنسلفانيا بالولايات المتحدة الأمريكية، بمعرفة المدعو ملازم دراك، وللاستفادة بالخام البترولى فقد تم إنشاء أول برج للتقطير، حيث تم تقطير الخام البترولى المكتشف، بهدف فصله إلى مكونات خفيفة أو متوسطة أو ثقيلة، وذلك للحصول على السوائل الصالحة للاستخدام كوقود فى الأغراض المنزلية وفى بعض الوحدات الصناعية، خاصة الغلايات والأفران.

وقد لوحظ أن المقطرات الخفيفة لا تصلح للاستخدام؛ نظراً لخطورتها وسرعة اشتعالها، لذلك كان يتم التخلص منها سريعاً بحثاً عن السلامة والأمان.

أما المشتقات الأثقل، والتى عرفت منذ البداية بمسمى الكيروسين، فقد جاء أنها مناسبة كوقود منزلى، حيث إنها بطيئة نوعاً ما فى التبخر، كما أنها أكثر مقاومة من حيث سرعة الاشتعال، بذلك كان الهدف الأساسى من تقطير الخام البترولى الحصول على ذلك الوقود المنزلى (الكيروسين).

أما المتبقى من مركبات متوسطة أو ثقيلة، وكانت ذات لزوجة عالية، قد تصل إلى درجة الصلابة، كما أنها الأقل فى التطاير مع عدم القابلية لسرعة الاشتعال، فلم تستخدم على الإطلاق كوقود، بل وجدت الطريق إلى استخدامها فى تمهيد وتثبيت الطرق الترابية، ثم فى أعمال رصف هذه الطرق، كذلك حققت نجاحاً عندما استخدمت فى تبطين قاع وأسطح أرضية المجارى المائية من قنوات أو مصارف.

عند تقطير الخامات البترولية فى مصافى التكرير تنتج أنواع الوقود من الغازات والسوائل التى تكون لها مدى غليان متدرج فى الزيادة، وبيانها على النحو التالى:

- الغازات: تعرف بمسمى بوتاجاز أو غازات بترولية، وهذه الأقل فى درجة الغليان.
- السوائل وتشمل:

١- وقود النافتا، والذى يتم تحويله وتعديل تركيبه الكيميائى ليتحول إلى بنزين السيارات بأنواعه المختلفة.

٢- الكيروسين، والذى يستخدم كوقود للأغراض المنزلية وأحياناً للغلايات أو الأفران، كذلك يتم التعديل فى تركيبة مكونات الكيروسين ليتحول إلى وقود للطائرات النفاثة بأنواعها المختلفة.

٣- السولار، يستخدم كوقود لمحركات الديزل، وكذلك لمحركات الجرارات والأوناش بالسكك الحديدية، أو للمعدات الحربية والزراعية ، إضافة إلى الاستخدام كوقود للأفران والغلايات، وكذلك وقود لبعض أنواع السفن واللنشات والمعدات البحرية.

٤- المازوت، يستخدم كوقود للأفران والغلايات، ومحطات توليد الكهرباء، وكوقود أساسى للبواخر والسفن.

٥- المتبقى الثقيل فى برج التقطير، حيث يعرف بمسمى البيتومين، ويدخل كمكون أساسى فى عمليات التبطين والرصف أو العزل، سواء للماء أو الحرارة.

هذه المقطرات يحصل عليها من تقطير الخامات البترولية فى أبراج التقطير وتحت الضغط الجوى العادى، وفى بعض مصافى التكرير يتم التقطير فى أبراج تحت ضغط منخفض وذلك للمتبقى الثقيل من التقطير تحت الضغط الجوى العادى، ومما يتيح الحصول على زيوت التزييت وبعض أنواع الوقود خاصة السولار، وفيما يلى المزيد من التعريف بأنواع الوقود السائل محل هذه الدراسة.

٢- أنواع الوقود السائل:

تتناول هذه الدراسة خواص ومكونات الوقود السائل الناتجة عن تكرير الخامات البترولية فى مصافى التكرير، حيث تستخدم كوقود فى إدارة وتشغيل المحركات المختلفة والغلايات والأفران، إضافة إلى محركات البواخر ووسائل النقل البحرى المتنوعة.

بذلك تتناول الدراسة الآتى:

١- بنزين السيارات، وهذه التسمية تستخدم فى أغلب الدول العربية، أما باللغة

obeikandl.com

الإنجليزية فيطلق عليه مسمى (GASOLINE – جازولين) ويستخدم كوقود لإدارة محركات البنزين.

٢- سولار، وهذا الوقود لازم لإدارة أنواع محركات الديزل، وسواء فى أنواع الشاحنات أو الجرارات أو المعدات الزراعية، كذلك يستخدم كوقود للقاطرات والجرارات بالسكك الحديدية، وأيضاً لمحركات بعض أنواع السفن واللنشات ويطلق عليه باللغة الإنجليزية (GAS Oil) – زيت الغاز، وفى أغلب الدول العربية يحمل مسمى وقود الديزل أو السولار، ولكن فقط فى سوريا يحمل اسم «المازوت» ولا يوجد تفسير عن السبب وراء هذه التسمية.

٣- المازوت، وهو الوقود اللازم للأفران والغلايات، إضافة إلى البواخر ووسائل النقل البحرى ويطلق عليه باللغة الإنجليزية مسمى (Fuel Oil) – زيت الوقود، ويسمى المازوت أو وقود الأفران، وهو الشائع فى أغلب الدول العربية، عدا سوريا حيث يحمل مسمى الوقود البحرى، وأحياناً مسمى وقود الأفران.

وتختلف هذه الأنواع من الوقود السائل فى نوع وكمية الملوثات المنبعثة عن احتراقها، وذلك طبقاً لظروف إنتاجها وطرق معالجتها أو كيفية تشغيلها فى المحركات والمعدات المختلفة.

وبالنسبة إلى وقود الطائرات النفاثة (Aviation Jet Fuel) فمن اللازم أن يتفق مع مواصفات عالمية محددة، إذ يستخدم مع الطائرات التى يتم تزويدها بالوقود من مطارات متعددة فى دول مختلفة؛ لذلك يجب أن تتفق جميعها فى مواصفات الوقود المتوفر بها، أى أن يتطابق مع الاشتراطات البيئية، أى أن يكون وقوداً غير ملوث للبيئة، والملوثات التى تنبعث عن احتراقه فى إطار النسب المسموح بها.

وفى السابق كان يستخدم مع بعض أنواع الطائرات وقود معدل من بنزين السيارات، وكان يطلق عليه مسمى بنزين الطائرات، لكن أصبح حالياً استخدامه محدوداً للغاية (مثال الاستخدام فى طائرات رش المبيدات على المحاصيل الزراعية) واستبدل بأنواع وقود الطائرات النفاثة.

بذلك سيتم التركيز فقط على أنواع الوقود السائل من: بنزين السيارات – السولار – المازوت.

٣- التعريف بالوقود النظيف:

الوقود النظيف هو الذى ينتج عن احتراقه بالكامل أقل الحدود من نسب انبعاث الملوثات، وتكون المكونات الرئيسية الناتجة فقط ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء، كذلك لا ينتج أو يتبقى عن احتراقه رماد متخلف، أو يتصاعد سناج أسود (هباب) بل يستنفذ بالكامل فى عملية الاحتراق.

٤- الملوثات المنبعثة عن احتراق انواع الوقود:

تعرف الملوثات بأنها مركبات من الغازات أو قطرات السوائل الصغيرة الحجم (إيروسولات) والتى يؤدى وجودها فى الهواء لإحداث أضراراً صحية بالإنسان وخلافه من الكائنات الحية (الحيوانات، الطيور، النباتات،... إلخ)، كذلك تتسبب فى إحداث خلل بالمناخ أو دورات الحياة، وخلافه من الظواهر، وتشمل الملوثات الرئيسية التى تنبعث إلى الهواء نتيجة احتراق أنواع الوقود السائل التقليدى، أى الغير نظيف والملوث للبيئة، على المركبات التالية:

أ- الجزيئات الدقيقة العالقة (Suspended Particulate Matter)

هذه جزيئات ذات أحجام متناهية فى الصغر، صنفت فى البداية بأنها الجزيئات الأقل فى الحجم من ١٠ ميكرومتر، وأطلق عليها للاختصار (PM_{10})، ثم عدل التصنيف ليشمل الجزيئات الأقل فى الحجم عن ٢,٥ ميكرومتر ($PM_{2.5}$).

البعض من هذه الجزيئات يكون صلباً، بينما الآخر قطرات عالقة فى الهواء، وبذلك يمكن رؤيتها بالعين المجردة، خاصة وأن ألوانها معتمة (رمادى، أسود، بنى غامق) طبقاً لأسباب وكيفية تكونها، وما تحمله معها أو بداخلها من مركبات كيميائية (مركبات هيدروكربونية) غير كاملة الاحتراق، وأنواع الملوثات الأخرى العالقة بها أو الذائبة فيها.

تشكل هذه الجزيئات خطورة كبيرة على الصحة العامة للإنسان، إذ تجد الطريق إلى الرئتين ثم تستقر بداخلها مسببة متاعب صحية وأمراض الحساسية وصعوبة التنفس وخلافه.

ب- المركبات العضوية المتطايرة (Volatile Organic Compounds-VOCS)

تشمل الأبخرة المحتوية على نواتج تكسير جزيئات الوقود السائل والمتصاعدة أثناء احتراقه، خاصة فى حالة بنزين السيارات أو السولار، بالإضافة إلى المشتقات الخفيفة التى تتبخر أثناء عملية التموين، أو النقل والتداول، أو حالة وجود فواقد أو تبخر أو خرير.

تتصاعد هذه الأبخرة سريعاً إلى طبقات الجو العليا لتتفاعل مع الملوثات الرئيسية الأخرى مكونة بما يعرف بمسمى الملوثات الثانوية، والتى تشمل: المركبات السامة (الألدهيدات، الكيتونات، الأثيرات،... إلخ)، إضافة إلى الأوزون الأرضى (غاز الأوزون O_3) الذى ينبعث كعادم من محركات السيارات ويظل جاثماً فوق سطح الأرض لفترات زمنية طويلة.

ج- أول أكسيد الكربون Carbon Mono- Oxide (CO)

ينتج هذا الغاز عن عدم الأكسدة الكاملة للوقود المحترق، ويتأثر انبعاثه بحالة المحرك والمعدات المستخدم بها الوقود، وفى حالة المحركات فإن الكمية المنبعثة تتأثر بسرعة وكفاءة المحرك، وتكون فى أعلى نسبها حينما تكون سرعة المحرك عند أقل معدلاتها.

د - أكاسيد النيتروجين Nitrogen Oxides (NO_x)

تنتج هذه المركبات من احتراق الوقود المحتوى على نسب من النيتروجين، حيث تتكون مجموعة من أكاسيد النيتروجين (NO_2, NO, N_2 O_3)، كذلك تنتج عن ارتفاع درجة حرارة المحرك، إضافة إلى عمليات الاحتراق التى تتم عند درجات الحرارة العالية، حيث تساعد الحرارة المرتفعة على التفاعل بين كل من النيتروجين والأكسجين الموجودين فى الهواء الجوى، لينتج عنهما أول أكسيد النيتروجين، الذى سرعان ما يتفاعل ثانية مع الأكسجين مكونا الأكاسيد الأخرى، أى أن تكون هذه الأكاسيد راجعاً لكل من خواص الوقود وظروف الاحتراق معاً، وترجع خطورة هذه الأكاسيد ليس فقط لتأثيرها السام على مختلف الكائنات الحية، لكن لذوبانها فى بخار الماء المتواجد فى طبقات الجو العليا (السحب) مكونة حامض النيتريك الذائب فى بخار الماء، حيث يتساقط ثانية على الأرض فى صورة أمطار حامضية، وأحياناً على هيئة ترسبات جافة (مثال الثلوج، الضباب،... إلخ)، وجميعها ذات تأثير ضار على النباتات والأشجار والمسطحات المائية والتربة بأنواعها المختلفة.

هـ - أكاسيد الكبريت Sulphur Oxides (SO_x)

تنتج عن احتراق الوقود المحتوى على نسبة من الكبريت؛ نتيجة لتفاعل الكبريت مع الأكسجين الجوى، لتتكون أكاسيد الكبريت، خاصة ثانى أكسيد الكبريت (SO_2)، الذى يتماثل مع أكاسيد النيتروجين فى الذوبان فى بخار الماء عند الوصول إلى طبقات الجو العليا مكونا لحامض الكبريتيك، وصانعاً بالتالى الأمطار الحامضية، ويزداد تكون أكاسيد الكبريت نتيجة لاحتراق المقطرات من المنتجات المتوسطة والثقيلة مثال: السولار (وقود الديزل) والمازوت (وقود الأفران) ومع تناسب لما تحتوى عليه من نسب للكبريت، وحامض الكبريتيك (يعرف بمسمى ماء النار) ذو خطورة كبيرة على مختلف أنواع الكائنات الحية.

الملوثات الثانوية:

عند تفاعل بعض أنواع الملوثات الرئيسية معاً، وبالتحديد:

- أكاسيد النيتروجين (NOx)
- المركبات العضوية المتطايرة (VOCs)
- المركبات الهيدروكاربونية الغير كاملة الاحتراق (النشطة كيميائيا)

فإنه ينتج أنواع من الملوثات الثانوية، حيث تشمل:

أ – الأوزون الأرضى (O_3)

الأوزون غاز شديد السمية يؤثر على نحو ضار بمختلف الكائنات الحية، مما يؤدى إلى تلف كبير فى أنسجة الرئة مع انخفاض فى كفاءة أداء وظائفها.

والأوزون بذلك يتفق مع التعريف «المركب الكيميائى المتواجد فى غير مكانه الصحيح»، إذ إن الأوزون الموجود فى طبقة الأستراتوسفير، أى فى الغلاف الجوى للأرض، على ارتفاع بحدود ١٥ – ٥٠ كيلو متر، يقوم بامتصاص الإشعاعات القصيرة (الموجات فوق البنفسجية) وبالتالى يقلل من كميات وصولها إلى الأرض، أى يحقق الحماية للكائنات الحية فوق سطح الأرض من مضار هذه الإشعاعات، أما وجود الأوزون فوق سطح الأرض (الأوزون الأرضى) فيسبب تلوثاً كبيراً وساماً للبيئة وما تحتوى عليه من كائنات ومكونات.

ب– المركبات الكيميائية السامة:

تشمل الألدهيدات (فورمالدهيد، استالدهيد)، أوليفينات (١,٣ بيوتادين)، العطريات (خاصة مركب البنزين C_6H_6)، الكيتونات،... إلخ، وجميعها مركبات شديدة السمية وملوثة للبيئة، وتنبعث مع العادم كملوثات ثانوية.

٥- السحب السوداء:

تختلف أنواع السحب السوداء طبقا لظروف تكونها من حيث أنواع الملوثات الداخلة فى تركيبها، إضافة إلى الظروف المناخية المصاحبة لتكونها.

تشمل أنواع السحب السوداء الآتى:

أ- السحب السوداء الصناعية (Industrial Smog)

تتكون هذه السحب عندما تتحد الأدخنة المحملة بذرات الكاربون (الهباب) وأكاسيد الكبريت وغيرها من المركبات الكبريتية مع الضباب المحمل ببخار الماء، لتصنع سحبا غير منفذة للضوء، وقد تكرر ظهور هذه السحب فى العديد من مدن أمريكا، الصين، شرق أوربا، جنوب شرق آسيا... إلخ، مما دفع هذه المدن للتعامل مع المسببات المحدثة لذلك التلوث، خاصة بالتحكم فى نواتج حرق الفحم مع استخدام المناسب من أنواع المرشحات، وحتى الآن لا زالت بعض هذه المدن تعانى، أحياناً، من السحب السوداء.

ب- السحب السوداء الضوء كيميائية (Photochemical Smog)

تنتج هذه السحب من الأكاسيد للنيتروجين مع المركبات الهيدروكاربونية الغير كاملة الاحتراق (النشطة) فى وجود ضوء الشمس، وتشمل أكاسيد النيتروجين (NO, N_2O, N_2O_3).... إلخ، والتى تنتج عن احتراق الوقود المحتوى على نسب من النيتروجين، كذلك تنتج من التكون الطبيعى لأكاسيد النيتروجين، حيث يتفاعل النيتروجين الموجود فى الهواء الجوى (نسبة حوالى ٨٠٪ من الهواء الجوى) مع الأكسجين الموجود فى الهواء (نسبة حوالى ٢٠٪ من الهواء الجوى) عند درجات الحرارة المرتفعة.

وإجمالاً فإن ضوء الشمس يعطى الطاقة اللازمة لأن تتفاعل أكاسيد النيتروجين مع المركبات الهيدروكاربونية الغير كاملة الاحتراق، والتى تكون فى حالة نشطة ومستعدة للدخول فى تفاعلات متعددة، مما يؤدى إلى تكون العشرات من المركبات التى تشمل الألدهيدات، الأكاسيد، النيترات... إلخ، إضافة إلى غاز الأوزون (O_3)، بذلك تتكون سحب معتمة ذات لون بنى غامق، تكون ظاهرة وواضحة فى الصباح الباكر، ثم تبدأ تدريجيًا بالاختفاء مع سطوع ضوء الشمس، وطبقا لتركيز الملوثات المتصاعدة، وإذا صادف فى اليوم التالى تكون للسحب مع غياب الشمس فإن هذه السحب تظل جاثمة، أى باقية طوال غياب الشمس. وكثيراً ما تتحد أنواع السحب معًا، أى الصناعية مع الضوء كيميائية لتكون إعتاماً شبه تام لضوء الشمس.

٦- ظاهرة الانعكاس الحرارى:

تلعب العوامل المناخية دوراً مؤثراً على زيادة تأثير الضباب الكثيف سواء كان ناتجًا عن احتراق الوقود فى الوحدات الصناعية أو وسائل النقل المختلفة أو حتى عند حرق أنواع الوقود الأخرى مثال قش الأرز أو الأخشاب أو الفحم... إلخ.

ومن أهم هذه العوامل المناخية ما يعرف بمصطلح الانعكاس الحرارى (Temperature Inversion)، ففى الظروف الطبيعية، ومع ارتفاع درجة حرارة الهواء خلال ساعات النهار، فإن ما ينبعث من ملوثات يجد طريقه إلى طبقات الجو العليا، ذلك أن سطح الأرض أكثر سخونة عما فوقه من طبقات الهواء الأقل فى درجة الحرارة، ومما يساعد على سرعة صعود الملوثات إلى أعلى، أى يكون سطح الأرض طارداً للملوثات، وإذا ما استمرت درجة الحرارة مرتفعة مع حلول الليل فإن صعود الهواء الدافئ يستمر وينتشر فى طبقات الجو العليا ثم يتشتت، بذلك تنخفض حدة التلوث، أما إذا كان الليل بارداً مقارنة بالنهار (وعلى نحو ما يحدث فى مصر خلال شهور الخريف)، فإن درجة الحرارة على سطح الأرض تنخفض على نحو ملحوظ، ومن ثم يتوقف صعود الهواء إلى أعلى، حيث تهبط طبقة من الهواء البارد

لتجثم فوق سطح الأرض، أى أسفل طبقة الهواء الساخن. بذلك يحدث ما يعرف باسم الانعكاس الحرارى (Temperature Inversion)، ومما يجعل كل ما صعد أثناء النهار من الملوثات يعود ثانية إلى سطح الأرض. بذلك تزداد كثافة وحدة تكون السحب السوداء، سواء كانت سحباً صناعية أو ضوء كيميائية، وهذا ما يعظم من تأثيرها. وإذا ما كان اليوم التالى دافئاً ومشمساً، وبدأ سطح الأرض يسخن فإن الملوثات المنبعثة تصعد ثانية إلى أعلى وتنتشر، أما إذا كان اليوم التالى حافلاً بالسحب (مغيماً ومعتماً)، فإن ما سبق أن عاد إلى الأرض من ملوثات يظل باقياً فوقها لفترة قد تصل إلى عدة أيام، طالما أن الشمس مفتقدة.

٧- العوامل المؤثرة على تكون وانبعاث الملوثات:

واستناداً إلى التعريف بأنواع ملوثات الهواء، فإنه يمكن التوصل إلى أن تكونها يرجع إلى العوامل التالية:

أ- **التركيب الكيميائى للوقود:** حيث تختلف أنواع الوقود فى التركيب الكيميائى نتيجة لاختلاف عمليات التكرير للخامات النفطية، وما يتبعها من عمليات للتحويل أو المعالجة، إذ تؤثر بشكل واضح على التركيب الكيميائى للوقود، وما يحتوى عليه من المركبات الصانعة للتلوث، خاصة : العطريات، البنزين ($C_6 H_6$)، النيتروجين، الكبريت، إضافة إلى كل من المشتقات الخفيفة أو الثقيلة الموجودة فى الوقود، حيث يتسبب وجودها بنسب مرتفعة إلى زيادة انبعاث المركبات العضوية المتطايرة، الجزيئات الدقيقة العالقة، كما تلعب الهيدروكاربونات الغير مشبعة (الأوليفينات)، إضافة إلى أنواع المعادن التى توجد بنسب ضئيلة؛ دوراً هامًّا فى انبعاث الملوثات.

ب- **ظروف عملية احتراق الوقود:** خاصة ارتفاع درجة حرارة الاحتراق، وما ينتج من حدوث تكسر حرارى لمكونات الوقود، مع ارتفاع معدلات التطاير والتبخر، كذلك تلعب هذه الظروف للاحتراق دوراً أساسيًّا فى عدم الاحتراق الكامل أو الأكسدة الكاملة للوقود، أى ينتج إضافة إلى ثانى أكسيد كربون وبخار ماء، كل من : أول أكسيد الكربون، المركبات العضوية المتطايرة، الجزيئات الدقيقة العالقة وكذلك أكاسيد النيتروجين.

يشتمل الجدول رقم (١) على تحديد لأنواع ومسببات انبعاث الملوثات، سواء كان ذلك راجعا إلى التركيب الكيميائى للوقود أو إلى ظروف الاحتراق فى المحرك، أو إلى كلا السببين معاً.

أى أن التوصل إلى الوقود النظيف مهمة مشتركة يجب أن يتعاون فى إنجازها كل من مصافى التكرير وصانعى المحركات والمعدات، بالإضافة إلى أسلوب القيادة

والاستخدام، وكيفية إجراء أعمال الصيانة بأنواعها المختلفة (الدورية، الوقائية، العلاجية)، كذلك تعتمد على أنواع الإضافات اللازم استخدامها مع الوقود، سواء من حيث النوعية أو الفاعلية، مما يصنع دوراً أساسيًّا فى تحقيق الاحتراق النظيف للوقود، مع بقاء المحرك نظيفاً يعمل بكفاءة.

جدول رقم (١)

المسببات لانبعاث الأنواع المختلفة من الملوثات الناتجة عن حرق الوقود السائل

نوع الملوثات	المسببات	
	التركيب الكيميائى	ظروف احتراق الوقود
الجزيئات الدقيقة العالقة (مخاليط من الجزيئات الصغيرة والإيروسولات، المركبات الهيدروكاربونية (النشطة)، الأتربة، الأدخنة، الهباب، بخار الماء... إلخ.	• النسب العالية من المركبات العطرية. • وجود مركبات عطرية متعددة الحلقات. • ارتفاع نسبة وجود مركب البنزين ($C_6 H_6$) • وجود مركبات أوليفنية، خاصة الثنائية والمتعددة.	عدم احتراق الوقود على نحو كامل وتكسره حراريًّا
المركبات العضوية المتطايرة (مخاليط من المركبات الهيدروكاربونية النشطة، الألدهيدات، الكيتونات، الأوليفينات، الديوكسين،... إلخ).	• ارتفاع نسبة وجود مركب البنزين ($C_6 H_6$) • تكسر المركبات الثقيلة إلى جزيئات صغيرة. • وجود مركبات هيدروكاربونية خفيفة ($C_4 H_7$) • وجود أوليفنيات	ظروف احتراق عالية الحرارة
أكاسيد الكبريت (ثانى وثالث أكسيد الكبريت)، الأمطار الحامضية	ارتفاع نسبة الكبريت	• ظروف احتراق مؤكسدة. • تكون أكاسيد النيتروجين.
أكاسيد النيتروجين (أول، ثانى، متعدد أكاسيد النيتروجين، الأمطار الحامضية، السحب السوداء... إلخ).	ارتفاع نسبة النيتروجين	ظروف احتراق عالية الحرارة
المعادن	أكاسيد المعادن	
أول أكسيد الكربون	أول أكسيد الكربون	عدم الاحتراق وأكسدة الوقود بالكامل
السحب السوداء	تفاعل المركبات العضوية المتطايرة وأكاسيد النيتروجين مع المركبات الهيدروكاربونية الغير كاملة الاحتراق (النشطة)	

ويوضح الشكل رقم (١) كيفية الربط بين هذه المتغيرات معا، ومما يؤثر كل منهم على الآخرين.

شكل رقم (١)

التأثير المتبادل بين العوامل المؤثرة على تكوين وانبعاث الملوثات