تصميم وتنفيذ واختبار مصدام قصوري كمفراز حجمي لجسيمات الهباء الجوي

أ.د.رشيد حمود النعيمي
فتيبة عدنان عبد الستار
الجامعة المستنصرية –كلية العلوم –قسم علوم الجو

المستخلص

المصدام القصوري واحد من التقنيات المهمة التي تستخدم لفرز جسيمات الهباء الجوي لأهداف هذا العمل تم تصميم مصدام قصوري وتنفيذه في الورش المحلية.عموما, تتحكم بنسبة القطع المطلوبة وبكفاءة المصدام العديد من العوامل الايروداينميكية .في هذه الدراسة نسبة القطع 50% تم اختيارها نظريا لتكون (1µm) .المصدام المنفذ تم اختباره بأستخدام عداد جسيمات بصري (Climate CI 500) وأظهرت النتائج ان كفاءة تجميع المصدام تقترب من 100% للجسيمات (5 µm) أو اكبر .

المقدمة

ان لجسيمات الهباء الجوي أهمية كبيرة من خلال تأثيرها على حياة الإنسان وعلى نقاوة الهواء والمناخ العالمي حيث تعمل على انخفاض درجات الحرارة وتقليل الإشعاع الشمسي الواصل الى سطح الكرة الأرضية بسبب الامتصاص والتشتت (عمليات التوهين) التي تحدث للإشعاع عند دخوله الى الغلاف الجوي وكذلك الدور الذي تلعبه جسيمات الهباء في موازنة الطاقة على سطح الأرض. وفي الوقت الحاضر تعد عمليات التلوث التي تحدث في الغلاف الجوي ومن أهم مصدرها الإنسان اذ تؤدي الى انبعاث جسيمات جديدة الى الغلاف الجوي ولضخامة تأثيرات هذه الأجسام على الصحة البشرية فقد ظهرت الحاجة الى استخدام أجهزة ومعدات هدفها تقليل هذه الجسيمات لاسيما في

المناطق التي يكثر فيها تركيز هذه الجسيمات علما ان الكثير من أنواع البكتريا وابواغ الفطريات والجراثيم تقع ضمن المديات الحجمية لجسيمات الهباء وعليه فقد تم استخدام المرشحات وأجهزة فصل الجسيمات استنادا الى الأغراض المصممة من اجلها.

ويتكون الغلاف الجوي من غازات عديدة وهناك نسبة ضئيلة من المواد الصلبة أو السائلة توجد بصورة منفصلة أو مجتمعة مع بعضها في الهواء تسمى بالهباء الجوي. وتعرف على انها جسيمات صلبة أو سائلة عالقة في وسط غازي [1 ,2].ان لجسيمات الهباء الجوي أحجام مختلفة فيتراوح أقطار هذه الجسيمات مابين 0.001 μmالى 100 μm [3] .تتكون جسيمات الهباء الجوي بطرق مختلفة منها ما يكون مصدره طبيعيا مثل الجسيمات المتكونة من رذاذ البحر وعوامل تعرية التربة وثوران البراكين, والطريقة الثانية هي المصادر الصناعية مثل حرق المواد الحيوية والوقود الاحفوري[4].

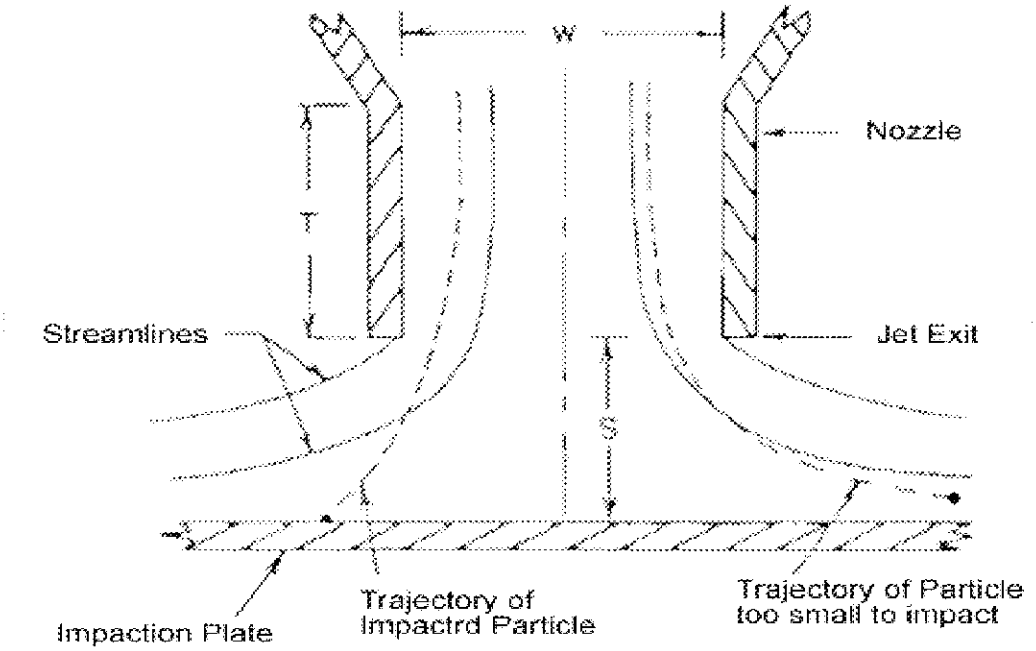
هناك العديد من العوامل التي تؤثر على أحجام جسيمات الهباء الجوي مثل التخثر والحركة البراونية والجاذبية والاضطراب بسبب القصور الذاتي وغيرها من العوامل التي ممكن ان تؤثر على أحجام الجسيمات [4].

ان المبدأ الفيزيائي الأساسي في فكرة بناء أجهزة المصدام القصوري (Inertial Impactor) يستند الى قوانين الحركة وبصورة رئيسية قانون نيوتن في الحركة .والتي ترتبط بمفهوم القصور الذاتي والذي يعرف بأنه " الصفة الطبيعية لأي جسم للمحافظة على حالته الاعتيادية اذا كان ساكنا يبقى على سكونه و اذا كان متحركا يستمر في حركته بأتجاه مستقيم وهو من الخصائص الطبيعية للمادة اذا تعرضت الى زيادة أو نقصان في التعجيل .كذلك يرتبط مفهوم اللزوجة بعمل المصدام والتي تعرف على انها "مقياس بين القصور الذاتي ومحاولة تغير حالة أو شكل الجسم" .ولكون أجهزة المصدام القصوري تتعامل مع الهواء (من الموائع) فقد ارتبط مصطلح الحجم الايروداينميكي بالمصدام القصوري والذي يعرف (قطر وحدة جسيم واحد مساوي لجسيم كتلته 1غم/سم3 في سرعة سقوطه الحدية) .ولقد استخدم المصدام بصورة واسعة من اجل فصل واخذ عينات من جسيمات الهباء الجوي وكذلك في التحليل الكيميائي .

نظرية عمل المصدام القصوري:-

يعمل المصدام القصوري بمبدأ عمل مفاده انه اذا تم تسليط تيار من الهواء الحاوي على جسيمات الهباء الجوي على سطح معين فأن هذه الجسيمات التي لها مقدار كبير من القصور الذاتي سوف تصطدم على هذا السطح بينما الجسيمات التي يكون قصورها الذاتي قليل سوف تستمر بالجريان مع تيار الهواء الى خارج المصدام ولن تصطدم على السطح كما موضح بالشكل الذي يوضح مبدأ عمل المصدام.ومن اجل ان تلتصق اكبر كمية ممكنة من الجسيمات توضع طبقة رقيقة من مادة صمغية على سطح الاصطدام ,وهناك طرق مختلفة لقياس كمية تركيز الجسيمات على سطح الاصطدام مثل (المايكروسكوب ,الأجهزة البصرية).

ان أهم ما يحدد عمل المصدام هي الفوهة(Nozzle) وهي من أهم مكونات المصدام ويرمز لها (W) حيث تكسب تيار الهواء المار من خلالها زخما قبل ان يصطدم بالسطح .ولطول الفوهة ويرمز لها (T) دورا مهما في جعل تيار الهواء منتظما[5].



شكل يوضح مبدأ عمل المصدام

العوامل الايروداينميكية في عمل المصدام:

هناك عوامل يجب أخذها بنظر الاعتبار لكي تزيد من كفاءة المصدام حيث انها تلعب دورا رئيسيا فيه.

1-معادلة ستوك (STK) :-

تعتبر من أهم العوامل التي تسيطر على عمل المصدام وكفاءته من خلال تحديد نسبة القطع وتعرف على انها النسبة بين المسافة التي تتوقف فيها الجسيمات الى نصف قطر الفوهة وهي من الكميات عديمة الوحدة ويعبر عنها رياضيا بالصيغة الآتية:-

$$STK=\frac{\rho_P D_P^{\,2} V C}{9w} \qquad \ldots\ldots(1)$$

حيث ان:-

STK :- **عدد ستوك** (Dimensionless) .

ρ_p :- **كثافة الجسيمات** (1.1 gm/Cm^3) .

D_p :- **قطر الجسيمات** (µm) .

V :- **السرعة عند نهاية الفوهة** (CM/Sec).

C :- Cunningham slip correction factor (Dimensionless) .

µ :- **لزوجة المائع** (1.81 * 10^{-4} gm/cm*sec).

W :- **قطر الفوهة** (Cm).

2-عدد رينولد (Re) :-

يعتبر عدد رينولد من أهم العوامل في ميكانيك الموائع وهو من الأعداد عديمة الوحدة,حيث يمثل النسبة بين تأثير القصور الذاتي الى تأثير اللزوجة في حركة الموائع[6].

$$Re=\frac{4\rho Q}{\pi \mu W} \qquad \ldots\ldots (2)$$

حيث ان:-

Re :- **عدد رينولد** (Dimensionless) .

ρ :-كثافة المائع (gm/Cm^3 Air density 1) .

Q :- التصريف الكلي للهواء (Cm^3) .

3- نسبة القطع $\sqrt{C}$ D :-

نسبة القطع هي نسبة جسيمات الهباء الجوي الداخلة الى المصدام الى جسيمات الهباء المترسبة على سطح الاصطدام تطبيقا لنظرية عمل المصدام .نظريا فأن نسبة القطع للمصدام تكون 50% لأقطار الجسيمات التي يصمم المصدام استنادا إليها .ومن العوامل المهمة في عمل المصدام وكفاءته هو منحني كفاءة التجميع لجسيمات الهباء والذي يوضح النسبة المئوية لأي حجم من هذه الجسيمات التي تتجمع على سطح الاصطدام والذي يمثل دالة لحجوم الجسيمات [7].

4-عدد ستوك 50 (STk 50) :-

يعرف على انه عدد ستوك عندما تكون الكفاءة 50% أي احتمالية التصاق الجسيمات 50% ومن خلاله يتم أيجاد كفاءة تجميع الجسيمات نظريا ,ويحسب رياضيا من خلال المعادلة التالية:-

$$STK_{50} = \frac{4\rho_P Q C D_{50}^{\ 2}}{9\pi\mu W^3} \qquad \ldots\ldots(3)$$

حيث ان:-

50 STK:- عدد ستوك للجسيمات التي لها 50 % كفاءة تجميع (Dimensionless).

D 50 :- قطر الجسيمات التي لها احتمالية 50% ان تصطدم بالسطح (µm).

الحسابات النظرية في تصميم الجهاز:-

تم اعتماد الجسيمات ذات الأقطار (1 µm) لحساب نسبة القطع في تصميم المصدام القصوري المنفذ في هذه الدراسة ولكون الجسيمات التي تقع ضمن هذه الأقطار لها تأثير على الحياة اليومية لأن بعض الملوثات (كالجراثيم والبكتريا) تقع ضمن هذا الحجم

حيث يمكن الاستفادة من هذا الجهاز في الامكان ذات الحساسية العالية ولتقليل تأثير مثل هذه الملوثات كما انها مهمة جدا في دراسة فيزياء الغيوم.

ولقد تم حساب السرعة عند نهاية الفوهة (V) من خلال تطبيق القانون الأتي:-.

$$V=\frac{4Q}{\Pi W^2}$$

$$V=\frac{4\times 471\ CM^3/SEC}{3.14\times(0.4\ CM)^2}$$

وعليه فأن قيمة السرعة هو V=3768 Cm/Sec

وإيجاد عدد رينولد من خلال تطبيق المعادلة رقم (2) :-

$$Re=\frac{4\times 1.205\times 10^{-3}(gm/cm^3)\times 471(cm^3/sec)}{3.14\times 1.810\times 10^{-4}\ (gm/cm\times sec)\times 0.4\,(cm)}$$

$$Re=10000$$

حساب **Cunningham slip correction factor (C)**:-

$$C=1+\frac{2.5\ \lambda}{D}$$

حيث ان :-

λ:- mean free path (0.07 μm)

$$C=1.1$$

حساب عدد ستوك والذي يعتبر من أهم العوامل الايروداينميكية في في أجهزة المصدام بأستخدام المعادلة (1):-

$$STK=\frac{(1.1\ gm/cm^3)*(1*10^{-4}cm)^2*(3768\ cm/\sec)*1.1}{9*(1.810*10^{-4}\ gm/cm*\sec)*(0.4cm)}$$

$$STK=0.06$$

حساب قيمة القطع للجسيمات $\sqrt{C}\ D_{50}$ وذلك بتطبيق المعادلة (3):-

$$\sqrt{C}\,D\,50=\sqrt{\frac{9\times\Pi\times\mu\times W^3\times STK}{4\times\rho p\times Q}}$$

$$\sqrt{C}\,D\,50 = \sqrt{\frac{9\times 3.14\times(1.810\times 10^{-4}\ gm/cm\times sec)\times(0.4\ cm)^{2}\times 0.06}{4\times(1.1\ gm/cm^{3})\times(471\ cm^{2}/sec)}}$$

$$\sqrt{C}\,D\,50 \approx 1\ \mu m$$

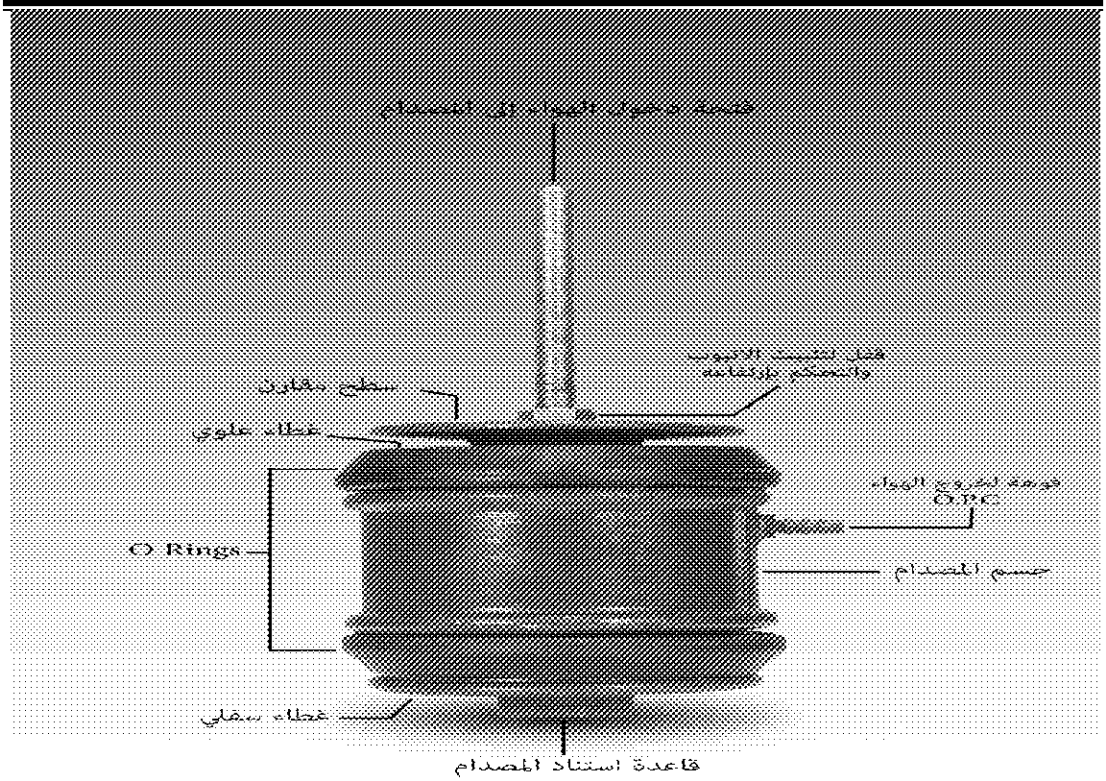
ولقد تم حساب كفاءة التجميع عمليا من خلال تطبيق المعادلة التالية:-

$$\text{Collection Efficiency} = \frac{\text{Direct} - \text{Impactor}}{\text{Direct}} * 100$$

وصف المصدام القصوري المنفذ:-

المصدام القصوري المنفذ في هذه الدراسة والموضح في الشكل رقم (1) عبارة عن اسطوانة مصنوعة من مادة الحديد لقدرة تحمل هذه المادة على التخلخل في الضغط الناتج عن استخدام مضخة سحب الهواء ,هذه الاسطوانة مفتوحة من الأعلى والأسفل ويتم غلقهما بشكل محكم بواسطة غطاء حديدي كما تم استخدام حلقتي O-Ring كما يوجد في جانب جسم المصدام فوهة بقطر (0.6 Cm) لخروج الهواء الى العداد البصري لجسيمات الهباء عن طريق أنبوب توصيل مصنوع من مادة المطاط.

وتم اختيار فوهة بقطر (0.4 Cm) والتي تستطيع ان تمرر كل تيار الهواء لجهاز العداد البصري والذي يبلغ (28.3 LPM) مع استخدام سطح اصطدام مصنوع من مادة الخشب وتم وضع طبقة رقيقة من مادة الفازلين عليه لتسهيل التصاق الجسيمات به.



طريقة قياس العينة:-

تم استخدام جهاز (Climate CI-500) لمعايرة نتائج المصدام القصوري وهو من احدث أجهزة قياس تراكيز جسيمات الهباء الجوي حيث يعتمد هذا الجهاز على مبدأ استطارة الضوء الليزري . و كان عدد القراءات التي تم تسجيلها (2160) قراءة بواقع (1080) قراءة مباشرة و (1080) قراءة عن طريق المصدام.

تمت عملية اخذ القراءات وبرمجة جهاز العداد البصري بالشكل التالي:-

1-مدة خمسة ثواني يعمل فيها العداد البصري عند ضغط مفتاح التشغيل .

2-تتم عملية سحب عينة من الهواء لمدة دقيقة واحدة بصورة مباشرة حيث تمر العينة مباشرة الى العداد البصري.

3-تتوقف مضخة الجهاز عن السحب الهواء لمدة (15) ثانية ,وهذه المدة مطلوبة من اجل ربط الأنبوب الذي يوصل بين المصدام والعداد البصري.

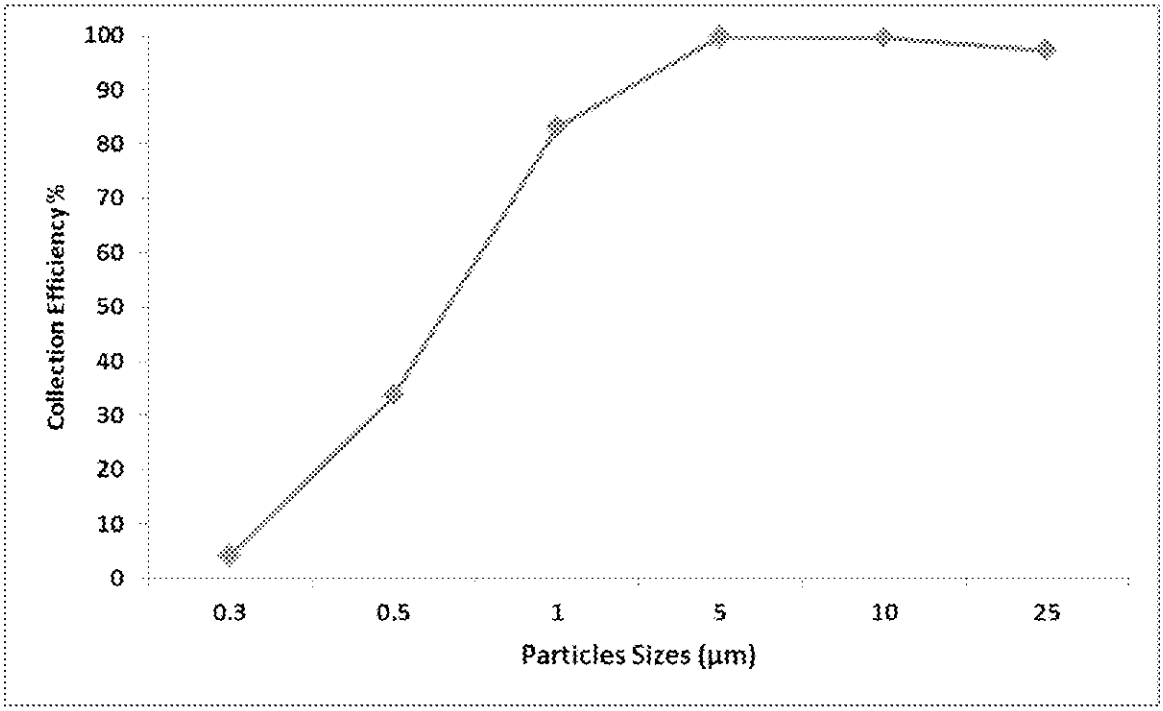
4-اخذ عينة من الهواء تمر من خلال المصدام ثم عن طريق أنبوب التوصيل الى العداد البصري لمدة دقيقة واحدة أيضا.

النتائج والمناقشة:-

جدول يوضح معدل تراكيز الجسيمات المقاسة بشكل مباشر والجسيمات المارة من خلال المصدام

Particles Sizes(µm)	Direct	Impactor
≥25	180	5
≥10	7137	36
≥5	55357	121
≥1	1197240	202636
≥0.5	5756534	3828101
≥0.3	53766430	51541047

يتضح من الجدول الفروقات في معدل تراكيز جسيمات الهباء الجوي و بمدياتها الحجمية الستة للعينات المأخوذة بصورة مباشرة من الهواء و العينات التي تم إمرارها من خلال المصدام القصوري ومن ثم الى العداد البصري. الجدول يشير الى ان جميع قيم التراكيز حتى الصغيرة منها يلحظ فيها وجود انخفاض في مقاديرها عندما تكون العينة مأخوذة من المصدام القصوري مقارنة مع تركيز هذه العينة عندما يحسب تركيزها بصورة مباشرة من الهواء .



شكل رقم (2) يوضح منحني كفاءة تجميع الجسيمات

الشكل رقم (2) يبن منحني كفاءة التجميع (نسبة القطع) مع أقطار الجسيمات. يشير الشكل الى وجود انحرافا حادا في كفاءة تجميع الجسيمات بعد الحجم (0.5µm) وتقترب هذه النسبة للقطع من (100%) عند قطر جسيم (5 µm) حيث تبلغ (99.78%). ان ظهور انخفاض في نسبة القطع للجسيمات ذات الأقطار الكبيرة (10 µm) و(25µm) عن (100%) قد يعود سببه الى انجراف عدد قليل من الجسيمات من داخل الأنبوب المطاطي الى العداد البصري وبما ان التركيز في هذه الحجوم هو قليل فأن أي إضافة حتى وان كانت محدودة جدا فأنها تكون مؤثرة في النتائج على العكس من الحجوم الصغيرة ذات التركيز الكبير جدا فأن مثل هذا الاحتمال لا ينتج عنه تغير ملحوظ.

ان أجهزة المصدام القصوري لا ينصح ان تستخدم لقطع الجسيمات الصغيرة (اصغر من 0.5 µm) حيث ان ذلك يتطلب استخدام سرعة عالية جدا للجريان للحصول على القطه وهذه السرعة العالية للتيار لحظة خروجه من نهاية الفوهة تؤدي الى حدوث اضطراب في جريان الهواء (Turbulence) يعمل هذا الاضطراب على خسارة الجسيمات الأصغر من نسبة القطع , كون زخم هذه الجسيمات لا يختلف عن زخم الهواء الذي تسير فيه وينتج عن ذلك انخفاض كبير في كفاءة التجميع لهذه الحجوم الصغيرة كما هو واضح في الشكل رقم (2) .ان نقطة القطع 50% يفترض ان تكون متقاربة بين الحسابات النظرية والعملية حيث تشير النتائج العملية الى ان نقطة القطع هي اقل من (1 µm) أما يرجع الى طبيعة الجسيمات في جو بغداد (اختلاف في كثافة مادتها) أو ان التقنيات المحلية (الورش) لا تستطيع عمليا ان توفر فتحة فوهة بالدقة المطلوبة نظريا.

المصادر

1- Kalliat T. Valsaraj and Raghava R. Kommalapati,. 2009 :Atomspheric Aerosols characterization, Chemistry, Modeling, and Climate .
2- Tareq Hussein,. 2005: Indoor and Outdoor Aerosol Particle size Characterization in Helsiniki.
3- Hung N. Nguyen,. 2007:Chemical and Morphological Characterization of Aerosol Particles in the Tropopause region , Lund University ,Sweden.
4- Mark Z Jacobson,.2002:Atmospheric Pollution History ,Science , And Regulation .

5- Liu, Benjamin Y. 1976:Fine Particles Aerosol Generation, Measurement, Sampling, and Analysis.
6- S . Vogel,. 1994: Life in moving fluids, Princeton University Press.
7- Panich Intra,.2008: Investigation of a Submicron-Particle Inertial Impactor for Size-Selective Inlet of the Electrical Mobility Spectrometer

Designing ,Implementing and Examining an Inertial Impactor as Aerosols Particle Size Separator.

The Inertial Impactor is one of the important technique used for aerosols particles separation .For the aim of this work an inertial Impactor is designed and it is implemented in the local workshops. Generally ,the required cut off ratio and the efficiency of the Impactor are controlled by a number of aerodynamic factors. In this study the 50% cut off ratio is choose ,theoretically, to be at 1 μm . The implemented Impactor is examined by using an optical particle counter (Climate CI 500). The results show that the collection efficiency of the Impactor is nearly 100% for the particles of 5μm and larger.