international DESIGN JOURNAL
Print ISSN 2090-9632
Online ISSN 2090-9640

انعكاس تأثيرات الديناميكا الهوائية علي شكل منتجات التصميم الصناعي

Reflection of Aerodynamic Effects on the Shape of Industrial Design Products

عبدالحميد ماجد عبدالحميد
معيد بقسم التصميم الصناعي، كلية الفنون التطبيقية، جامعة بنها. Abdelhamid.swyaid@fapa.bu.edu.eg
أ.د/ رحاب محمود الهبيري
رئيس قسم التصميم الصناعي، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان. Rehab_elhebary@hotmail.com
أ.م.د/ محمود احمد جوده الجزار
قائم بأعمال رئيس قسم التصميم الصناعي، كلية الفنون التطبيقية، جامعة بنها. Mahmoud.algazar@fapa.edu.eg

ملخص البحث

تعد الموائع هي الوسط الطبيعي لحياة الكائنات الحية سواء البرية او البحرية. وفي حدود هذا الاطار فان مجمل النشاط والابداعات البشرية تقع ضمن نطاق تأثير ديناميكا الموائع بفرعيها الديناميكا المائية والديناميكا الهوائية. وقد ظهرت المعرفة النظرية بهذه العلوم وتأثيرها علي التصميم منذ القرون الاولي وتجلي تطبيقها في تضمين الاثر البيئي للديناميكا الهوائية في فن العمارة. وباختراع محرك الاحتراق الداخلي الذي ادي الي قيام الثورة الصناعية انصب الاهتمام التطبيقي لعلم الديناميكا الهوائية علي تطوير وسائل النقل والمواصلات. ومع تنامي القدره الوظيفية للمنتجات وتعاظم نمو القطاع الاستهلاكي للمنتجات في ضوء السعي نحو تحقيق الاستدامة البيئية كان لزاما علي مصممي المنتجات السعي نحو تحقيق الانسجام الادائي والشكلي والوظيفي بين المنتج والبيئة المحيطه في سياق استخدامه. وقد تخطي الامر ذلك المبدء الي محاولة الاستفادة من التأثيرات البيئية من خلال تضمين المعايير الايروديناميكية في تصميم المنتج لتحقيق أعلي اداء وظيفي للمنتجات. ويناقش هذا البحث تأثيرات الديناميكا الهوائية واعكاسها علي التحورات الشكلية في تصميم المنتج. وتتنوع التأثيرات الايروديناميكية بين تأثيرات القوي كتأثير ماغنوس وتأثير كواندا وتأثير الستارة الهوائية والتأثير الأرضي. والتأثيرات الحرارية كتأثير المدخنة وتأثر ميديتريث وتأثير التبريد الهوائي. والتي يساعد تضمين كلا منها في سياقه في بناء شكل المنتج علي التعزيز من التكامل والاندماج بين الشكل الخارجي للمنتج والأنظمة الداخلية بما ينعكس علي خفض معدل استهلاك الطاقة وكفاءة الأداء الوظيفي لمنتجات التصميم الصناعي وهو ما يعد أحد اهم عناصر تحقيق التوازن والاستدامة البيئية لتصميم المنتج الصناعي.

كلمات دالة

التصميم الصناعي
Industrial design
تصميم المنتج
product design
بنائية شكل المنتج
product structure
الديناميكا الهوائية
aerodynamics
الديناميكا الحيوية
biodynamics
تأثيرات الديناميكا الهوائية
aerodynamic effects

Paper received November 1, 2024, Accepted January 6, 2024, Published on line March 1, 2025

المقدمة Introduction

يغطي التصميم الصناعي جميع المنتجات الصناعية التي يستخدمها البشر لتلبية دافع او رغبه إنسانية او لحل مشكلة في صورة تصميم منتج او نظام. لذا يحتاج المصممون الصناعيون إلى مستوى عالٍ من المعرفة التقنية من أجل تحديد الخصائص الفنية والتقنية للعديد من المنتجات الاستهلاكية في العديد من القطاعات مثل وسائل النقل والمواصلات ونظم التبريد والتكييف والأجهزة المنزلية. وأن يكونوا قادرين على خلق بدائل أفكار متعددة للتكوين الشكلي لهذه المنتجات وفقاً لما ستستخدم من أجله، وهذا ما يعنيه الإبداع الشكلي للمنتج. ويتأثر شكل المنتج بعدد من العناصر التي تغير من مظهر الشكل، بما في ذلك الجوانب الوظيفية والاستخدامية والجمالية والاورجنوميكية والبيئية للمنتج، وبناء علي ذلك ظهرت العديد من منهجيات تصميم المنتجات التي تعتمد علي مبادئ سيكولوجية مختلفة تهدف الي حوكمة عملية بناء الشكل عن طريق فرض تبعية بناء الشكل وربطها بمتغير معلوم كالشكل يتبع الوظيفة و الشكل يتبع الطاقة والشكل يتبع الجمال والشكل يتبع السياق. كما تعد عملية تصميم المنتج عملية مرحلية متعددة المعايير وتختلف هذه المعايير والمحددات التصميمية للمنتج الصناعي من قطاع انتاجي لاخر. وعلي الرغم من ذلك يظل الاطرار البيئي هو الاطار الرئيسي العام للسياق الوظيفي والاستخدامي للمنتج الصناعي. ومع تقدم التطورات التكنولوجية في قطاع الطاقة والاستدامة البيئية، يجب علي المصمم الصناعي بناء قاعدة معرفية حول المؤثرات البيئية علي تصميم المنتج ومن اهم هذه المؤثرات البيئية هي تأثيرات الديناميكا الهوائية. (خلف جبار زيدون، ٢٠١٩)

الديناميكا الهوائية هو مجال يدرس سلوك الهواء وتفاعله مع الأجسام الصلبة. وقد استشعر الانسان تأثير القوي الهوائية منذ قديم الازل الا ان علوم الديناميكا الهوائية لم تحظي بالاهتمام والتطور الا مع بداية التجارب الاولي للطيران في نهاية القرن الثامن عشر. وخلال القرن التاسع عشر ومع تزايد عجلة الإنتاج والاستهلاك انتشرت تطبيقات الديناميكا الهوائية، وذلك لتأثيرها بشكل كبير على مختلف القطاعات التصميمية سواء الانشائية او الصناعية والتقنية من هندسة الطيران والسيارات إلى الرياضة والمنتجات الاستهلاكية والطاقة المستدامة، تلعب الديناميكا الهوائية دورًا حاسمًا في تشكيل التطورات التقنية الحديثة. وسيظل تطبيق الديناميكا الهوائية محوريًا في تحسين الكفاءة والأداء والاستدامة. مما يمكننا من استكشاف حدود جديدة للمنتجات في عالم دائم التقدم. (David Rubio, 2023)

مشكلة البحث Statement of the Problem

تكمن مشكله البحث في ضعف الأداء الوظيفي لمخرجات عملية التصميم لافتقار المصمم الصناعي الي الأطر المعرفية النظرية والتجريبية الخاصة بعلم الديناميكا الهوائية وتأثيرها علي بنائية شكل

CITATION Abdel Hamid Abdel Hamid, et al (2025), Reflection of Aerodynamic Effects on the Shape of Industrial Design Products, International Design Journal, Vol. 15 No. 2, (March 2025) pp 209-227

المنتج الصناعي. وتكمن مشكلة البحث في الإجابة علي السؤال الآتي:

- ما مدي انعكاس تأثيرات الديناميكا الهوائية علي البناء الشكلي للمنتج الصناعي؟ وما هو تأثير الحصيلة المعرفية للمصمم الصناعي بتلك التأثيرات علي الأداء الوظيفي وجودة مخرجات عملية تصميم المنتج الصناعي؟

أهمية البحث: Research Significance

- إثراء علوم التصميم الصناعي بأحد أهم الجوانب البيئية وهو الديناميكا الهوائية لتحقيق الاستدامة البيئية.
- الارتقاء بجودة مخرجات عملية تصميم المنتج الصناعي وتعزيز الأداء الوظيفي لها.

أهداف البحث: Research Objectives

- دعم دارسي وممارسي التصميم الصناعي بجانب من جوانب علم الديناميكا الهوائية بهدف الارتقاء بجودة مخرجات عملية التصميم.
- إضفاء الانسجام الأدائي بين آلية عمل الأنظمة الميكانيكية الداخلية والجماليات الشكلية لتصميم المنتج الصناعي في اطار مساعي تحول القطاعات التصميمية والإنتاجية في اتجاه التصميم البيئي والمستدام.

فروض البحث: Research Hypothesis

يفترض البحث أن:

- هناك علاقة ذات دلالة إيجابية بين المام المصمم بالاطر المعرفية الخاصة بتأثيرات الديناميكا الهوائية وتحقيق الانسجام الادائي بين الوظائف الشكلية للمنتج وانظمته الداخلية بما ينعكس علي جودة المخرج النهائي لعملية تصميم المنتج الصناعي.

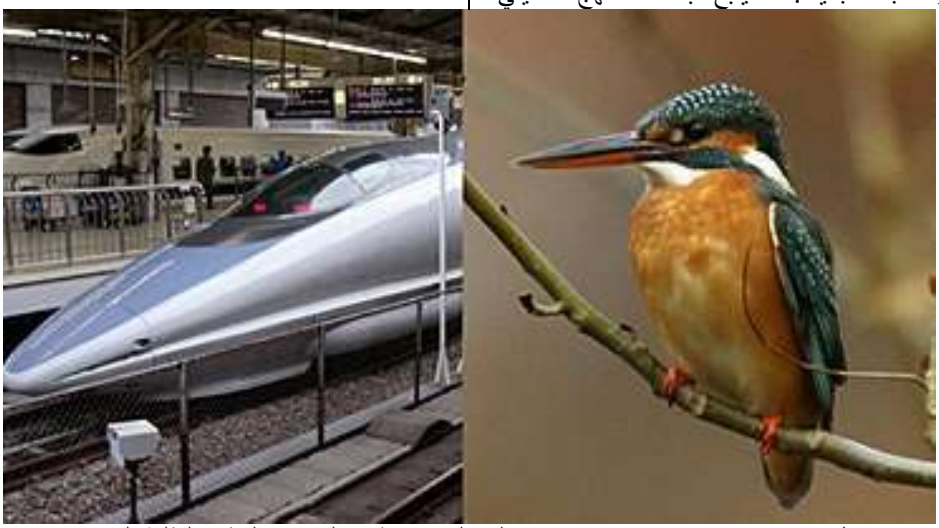
منهج البحث: Research Methodology

يتبع البحث المنهج الوصفي في طرح الأطر المعرفية الخاصة بتأثيرات الديناميكا الهوائية وطرح طرق وأساليب الاستفادة منها في دعم ابتكار وتطوير منتجات جديدة. كما يتبع الباحث المنهج التحليلي في تحليل انعكاس تلك التأثيرات علي التكوين الشكلي للمنتج الصناعي.

الإطار النظري: Theoretical Framework

الديناميكا الهوائية هي فرع من علم ميكانيكا الموائع. وهو مجال يختص بدراسة سلوك الغازات وخاصة الهواء في حالتي التوازن و الحركة ودراسة حركة الأجسام الصلبة التي تمر عبر الهواء والقوي الناتجة عن هذه الحركة وتأثيرها علي الجسم. وتسعى الديناميكا الهوائية، على وجه الخصوص، إلى شرح المبادئ التي تحكم طيران الطائرات والصواريخ والقذائف. كما تهتم بتصميم السيارات والقطارات فائقة السرعة والسفن، وكذلك بناء الهياكل مثل الجسور والمباني الشاهقة لتحديد مدى مقاومتها للرياح العاتية. بالإضافة الي العديد من المحددات الوظيفية والشكلية للمنتجات الاستهلاكية. وتتفرع تأثير الديناميكا الهوائية علي المنتج. في اعتبارات يتم تضمينها في التكوين الشكلي عند تصميم المنتج. واعتبارات تختص ببيئة وسياق تشغيل المنتج. وسيظل تطبيق الديناميكا الهوائية محوريًا في تحسين الكفاءة الوظيفية وخفض معدلات استهلاك الطاقة. (David Rubio, 2023)

وقد ساهم التصميم الصناعي علي مدار القرن الماضي الي حل العديد من المشاكل التصميمية ذات الارتباط الايروديناميكي ومنها محاولة تقليل الضوضاء العالية التي تحدث عند خروج القطار الرصاصي الياباني من النفق، حيث بحث المهندسون اليابانيون عن الحل الأمثل للمشكلة من خلال دراسة الطيور التي يمكنها اختراق التوتر السطحي للماء برفق لتقليل مشكلة الضوضاء. وقد ظهر الحل في دراسة طائر معروف باسم طائر الرفراف (Kingfisher Bird) والذي يتميز باختراقه للماء بسلاسة باستخدام منقاره. ظهر الحل وتم تصميم (nosecone) لهذا القطار على هيئة منقار هذا الطائر كما يوضح الشكل (1). (وسام أنسي، 2019)



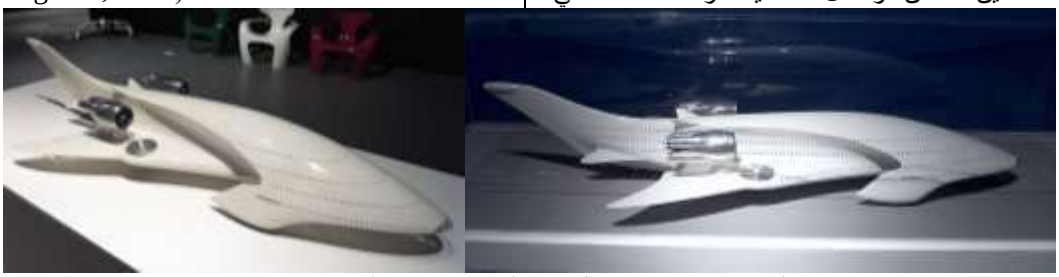
شكل (1) يوضح تصميم (nosecone) المستلهم من طائر الرفراف لقطار الطلقة الياباني.
(https://www.bloomberg.com/news/articles/2008-02-11/using-nature-as-a-design.)

وهناك العديد من رواد التصميم الصناعي الذين سعوا لابتكار العديد من الأساليب الفريدة لتطوير معالجات جمالية لشكل المنتجات في سياق تضمين المعايير الايروديناميكية في التصميم في كلا من الاتجاه الهندسي والعضوي لتصميم المنتج الصناعي وأصبحت تصميماتهم تدرس في العديد من جامعات ومدارس التصميم. وأبرزهم مصمم السيارات الإيطالي جيورجيتو جيوجيارو (Giorgetto Giugiaro) الذي لقب بمصمم سيارات القرن العشرين وصمم أكثر من 200 سيارة للشركات المصنعة في جميع أنحاء العالم والتي شكلت مجتمعة أكثر من 60 مليون سيارة على الطريق. حيث طبق جيوجيارو أسلوبه الحاد في الأوريجامي على السيارات. واشتهر جيوجيارو بالتصميم الفريد لسيارة (DMC DeLorean) المستوحاه من الأوريجامي الموضح بالشكل رقم (2). (Richard Benson, 2019)

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is properly cited.

شكل (2) يوضح تصميم سيارة (DMC DeLorean) المستوحاه من الأوريجامي.
(http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Back_left.JPG)

كما يعد لويجي كولاني (Luigi Colani) من مؤسسي الاتجاه العضوي في تصميم المنتج والذي جعلته تصميماته غير التقليدية مشهورًا، ليس فقط في دوائر التصميم، ولكن أيضًا بين عامة الناس. بفضل أسلوبه غير التقليدي لتحقيق المزج المثالي من الشكل والوظيفة. حيث ان السمة الرئيسية لتصميماته هي الأشكال العضوية المستديرة، والتي يسميها "الديناميكية الحيوية" ويدعي أنها متفوقة هندسيًا على التصاميم التقليدية. وذلك وفقا لاعتقاده الذي يظهر في قوله: "لقد استغرقت الطبيعة مئات الملايين من السنين لتحسين أشياءها، ولم يبق لدينا سوى نتاج مائة عام غبية من الديناميكا الهوائية". وذكر المصمم البريطاني روس لوفجروف عن أعمال كولاني انها تمكنت من أن تكون قديمة ومعاصرة في نفس الوقت. حيث رفض الزوايا الصارمة والخطوط المستقيمة التي يفضلها العديد من المصممين الألمان، وفضل المنحنيات والانتفاخات، التي تشير إلى كائنات مثل أسماك القرش وأسماك شيطان البحر والطيور الجارحة. ويوضح الشكل (3) وضح نموذج لطائرة الركاب صممها لويجي كولاني على شكل سمكة قرش ميجالودون. لديها أربعة طوابق طيران وأجنحة متأرجحة في الخلف. يمكن لكل سطح طيران أن يستوعب ما يصل إلى ألف راكب. ويوضح الشكل (4)"قطار الغد" فائق السرعة الذي صممه للسكك الحديدية الوطنية الألمانية. وهناك العديد من اسهاماته في كافة فئات وسائل النقل التي سعت وأثبتت ان الديناميكا الحيوية هي اولي السبل لضمان تحسين الديناميكا الهوائية للمركبات وخفض معدلات استهلاك الطاقة بالمقارنة مع التصميمات ذات الاتجاه الهندسي . ولكن على الرغم من ذلك فقد ظل الكثير من أعمال كولاني في المراحل المفاهيمية. مصدر إلهام لمصممين آخرين وليس منتجًا تجاريًا.
(Ayesha Durgahee, 2014)



شكل (3) يوضح نموذج لطائرة الركاب صممها لويجي كولاني.
(https://uk.pinterest.com/pin/562175965966209166/)

شكل (4) يوضح "قطار الغد" فائق السرعة للسكك الحديدية الوطنية الألمانية.
(https://www.pinterest.com/pin/317292736224316015/)

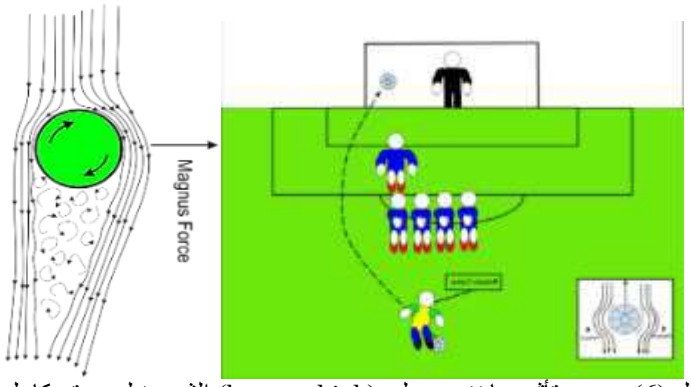
تأثيرات الديناميكا الهوائية على التصميم:

يتم تحليل اجمالي الأثر الايروديناميكي علي التصميم بشكل عام من خلال حساب قوي الرفع وقوي السحب المؤثره علي التصميم. وفي حقيقة الامر ان ان اجمالي هذه القوي ما هو الا نتاج تضمين للتأثيات الشكلية علي سلوك التدفق الهوائي. وتصف التأثيرات الهوائية سلوك تفاعل تدفق الهواء على التكوين الشكلي للمنتج وهو ما يتعين علي المصمم الصناعي الالمام به لتضمينه في المراحل الاولي من عملية التصميم المفاهيمي. وتتنوع التأثيرات الهوائية بين تأثيرات قوي كتأثير ماجنوس والتأثير الأرضي والتأثير كواندا والستائر الهوائية. وتأثيرات حرارية كتأثير ميريديث وتأثير المدخنة والتبريد الهوائي. حيث يقوم المصمم بدمج كل تأثير علي حدي في التكوين الشكلي للمنتج تبعا للسياق الاستخدامي له. ويوضح الشكل (5) التأثيرات الايروديناميكية علي التصميم.

شكل (5) يوضح التأثيرات الايروديناميكية علي التصميم. (من عمل الدارس)

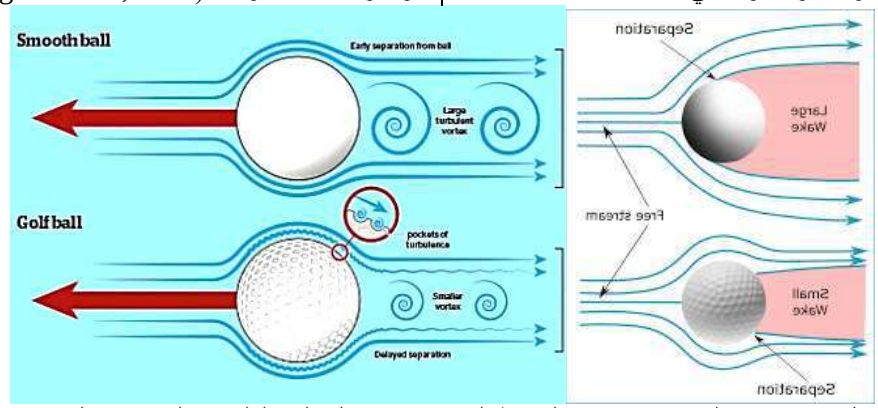
1- تأثير ماجنوس (Magnus effect)

تم تسمية تأثير ماجنوس على اسم الفيزيائي الألماني هاينريش غوستاف ماجنوس الذي وصف هذا التأثير في عام 1852م. تأثير ماجنوس هو ظاهرة ترتبط عادة بجسم كروي او أسطواني يدور عبر الهواء. حيث يتم سحب الهواء إلى جانب واحد من الجسم بتأثير الاحتكاك، مما يخلق فرقًا في الهواء الضغط من جانب إلى آخر. يؤدي هذا إلى نشوب قوة جانبية على الجسم مما يجعل الجسم الدوار يتحرك نحو جانب الضغط المنخفض حيث توجد مقاومة أقل. وتعتمد قوة تأثير ماجنوس على سرعة دوران الجسم. وتعد هذه الظاهرة مهمة في دراسة فيزياء العديد من رياضات الكرة. وغالبًا ما يتم استخدامه من قبل لاعبي كرة القدم والكرة الطائرة ورماة البيسبول ولاعبي الكراكيت. ويوضح الشكل (6) تأثير ماغنوس على (banana kick) الشهيرة لروبرتو كارلوس.
(Ryan F. Hooke, 2018)



شكل (6) يوضح تأثير ماغنوس على (banana kick) الشهيرة لروبرتو كارلوس.
(https://commons.wikimedia.org/Wikipedia_Digital_Diagram.svg&oldid=868227846.)

وقد أصبحت الغمازات أولًا سمة من سمات كرات الجولف عندما قام المهندس ويليام تايلور، بتسجيل براءة اختراع لتصميم الغمازة في عام 1905. حيث ساعدت الغمازات الموجودة على سطح كرة الجولف في انتقال الطبقة الحدودية من التدفق الصفائحي إلى التدفق المضطرب. حيث ان الطبقة الحدودية المضطربة قادرة على البقاء متصلة بسطح الكرة لفترة أطول، وبالتالي سحب ضغط أقل. مما يؤدي إلى تحرك الكرة لمسافة أبعد. ويؤدي دوران الكرة إلى توليد قوة الرفع عن طريق تأثير ماجنوس. وتساعد الغمازات لتوليد قوه رفع أكثر مما قد ينتج عن الكرة الملساء. كما أنها تقلل من تأثيرات القوي الجانبية لتوفير طيران أكثر استقامة للكرة. ويوضح الشكل (7) الفارق بين سحب الضغط الناشئ عم كره الجولف الملساء والكرة ذات الغمازات. (Craig Deforest, 1997)

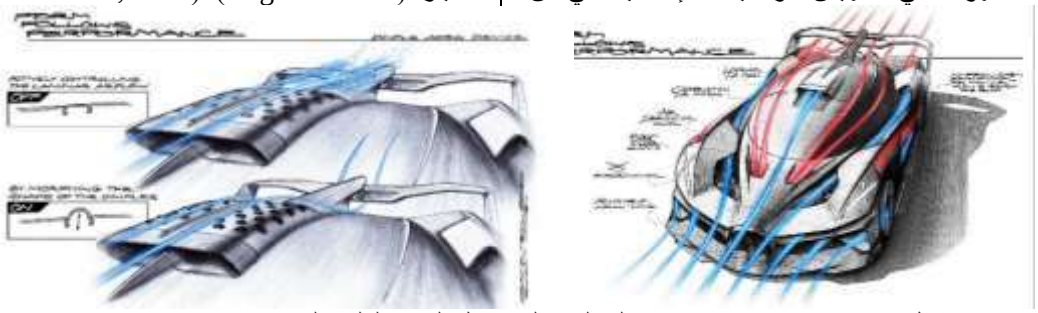


شكل (7) يوضح الفارق بين سحب الضغط الناشئ عم كره الجولف الملساء والكرة ذات الغمازات.
(https://www.nzherald.co.nz/sport/golf/golf-dimples-made-game-smooth-)/sailing/SDMDFIYRMUHFH7IOVZT5XUAIKU.

وقد تم تبني هذه الفكرة من قبل شركة بوجاتي في تصميم السطح الخارجي لمدخل الهواء الموجود على سطح سيارة بوجاتي بوليد. حيث ان تأثير التصميم الديناميكي الهوائي للغمازات الموجودة على السطح يتسبب هذا النمط في خلق طبقة حدودية أكثر اضطرابًا، مما يعني أن الهواء المتدفق حولها يلتصق بالسطح لفترة أطول ولا ينفصل إلا في وقت لاحق. ونتيجة لذلك، تنخفض قيمة معامل

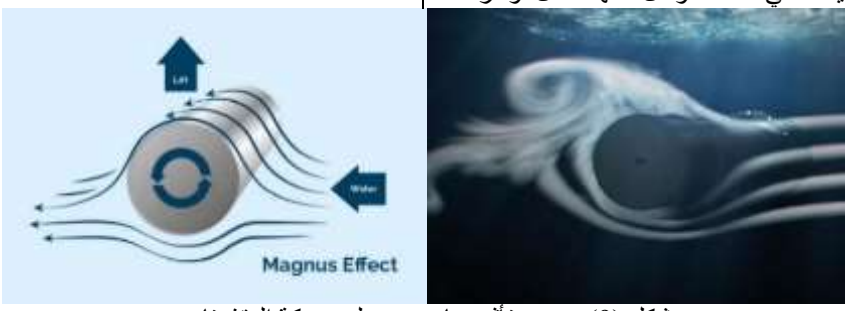
Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is properly cited.

السحب للسيارة. ويضمن تحسين تدفق الهواء بشكل فعال. فعند قيادة السيارة بسرعة بطيئة، في حدود 80 كم/ساعة، يظل سطح المدخل أملسًا، ولكن عند السرعات العالية والتي تقترب من 120 كم/ساعة، تكون مقاومة الهواء هي المهيمن، والنتيجة الإجمالية هي أن الغمازات تقلل من السحب الديناميكي الهوائي لمدخل الهواء العلوي بنسبة 10% وتتسبب في انخفاض بنسبة 17% في الرفع. ويضح الشكل (8) استخدام غمازات الجولف علي مدخل الهواء العلوي لسيارة (Bugatti Bolide). (Molsheim, 2020)



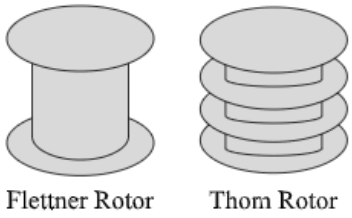
شكل (8) يوضح استخدام غمازات الجولف علي مدخل الهواء العلوي لسيارة (Bugatti Bolide).
(https://wearemotordriven.com/auto-exotica/ae-inside-lane/bugatti-dimple-airscoop-a-new-invention-for-enhanced-aerodynamics/.)

ولتأثير ماجنوس اثر علي حركة المقذوفات بسبب حركتها الدورانية حول محورها. حيث تؤدي الرياح الجانبية إلى خلق تأثير قوة ماجنوس على الرصاصة، مما يتسبب في انحراف مسار طيران الرصاصة لأعلى أو لأسفل مما يؤثر علي استقرار الرصاصة، لأن تأثير ماجنوس يؤثر على مركز ضغط الرصاصة بدلاً من مركز ثقلها. والذي يعتمد تحديده علي عده عوامل منها شكل وسرعة الرصاصة وكثافة الهواء وخصائص السطح. وبشكل عام إذا كان مركز الضغط متقدمًا على مركز الثقل فإن مسار الحركة سيكون غير مستقر؛ اما اذا كان مركز الضغط خلف مركز الثقل فإن مسار الحركة سيكون أكثر استقرار. ويوضح الشكل (9) تأثير ماجنوس على حركة المقذوفات. (Ryan F. Hooke, 2018)



شكل (9) يوضح تأثير ماجنوس على حركة المقذوفات.
(https://www.dmsholland.com/how-does-the-magnus-effect-work.)

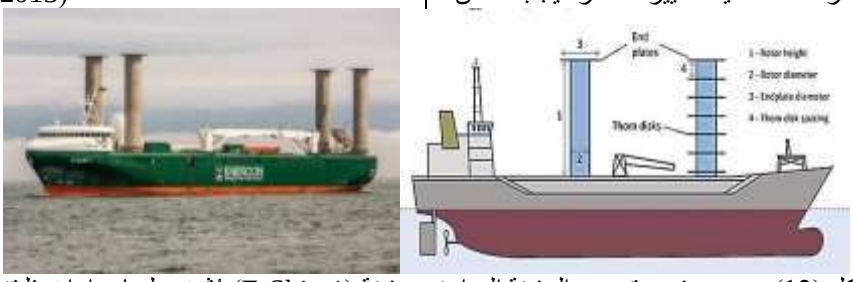
وفي مجال الطيران تم تصميم بعض الطائرات لاستخدام تأثير ماجنوس لإنشاء قوة رفع باستخدام أسطوانة دوارة بدلاً من الجناح مما يسمح بالتحكم في اتجاه الطيران. وهناك نوعين من تصاميم الاجنحة الدواره وهي دوار فليتنر (Flettner rotor) وهو عبارة عن دوار أسطواني أملس مزود بألواح نهاية القرص. و دوار توم (Thom rotor) وهو عبارة عن أسطوانة ناعمة تدور بأقراص متعددة على طول الامتداد. وكلاهما موضح بالشكل (10). وكانت الطائرة العائمة الأمريكية بلايموث A-A-2004 الموضحة بالشكل (11) والتي تحتوي على دوارات فليتنر بدلاً من الأجنحة التقليدية تمثيلا لهذا المفهوم الذي ظل مفهوم تجريبي حتي اليوم.
(Chris Hughes, 1930)



شكل (10) يوضح دوار فليتنر ودوار توم.

شكل (11) يوضح طائرة العائمة الأمريكية بلايموث A-A-2004.
(https://www.flitetest.com/articles/how-magnus-effect-can-lift-planes)

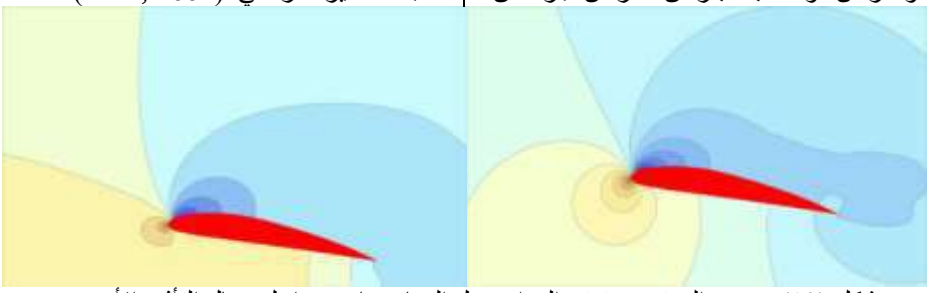
وفي القطاع البحري تم تصميم نوع من السفن للاستفاده من تأثير ماغنوس في الدفع عن طريق استخدام دوارات فليتنر كبيرة يتم تركيبها عموديًا على سطح السفينة وتُعرف باسم الأشرعة الدوارة. ولا تقوم الرياح بتشغيل الدوار نفسه مثل السفن الشراعية الأخرى، ويجب أن يكون له مصدر طاقة خاص به. ويعد المهندس الألماني أنطون فليتنر (Anton Flettner) أول من بنى سفينة حاولت الاستفادة من هذه القوة للدفع. مما جعل السفينة الدوارة قادرة على الإبحار في الطقس القاسي مع سهولة تحكم أكثر من السفينة الشراعية التقليدية. واذا أراد قئد السفينة تغيير المسار فيجب عكس اتجاه الدوران. وقد تم إحياء الاهتمام بالأشرعة الدوارة كوسيلة لزيادة كفاءة استهلاك الوقود للسفينة. حيث أطلقت شركة (Enercon) السفينة الدوارة الهجينة إي-شيب في أغسطس 2008. وتم استخدامها لنقل منتجات الشركة وغيرها من المعدات. وأوضحت الشركة ان سفينة أي شيب وفرت الوقود التشغيلي بنسبة تصل إلى 25% مقارنة بسفن الشحن التقليدية ذات الحجم نفسه. ويوضح الشكل (12) مفهوم تصميم السفينة الدوارة و سفينة E-Ship 1 مُثبت عليها دوارات فليتنر.
(Hubert Chanson, 2013)



شكل (12) يوضح مفهوم تصميم السفينة الدوارة و سفينة (E-Ship 1) مُثبت عليها دوارات فليتنر.
)/(https://oceaninfo.com/exploration/sailing/magnus-effect

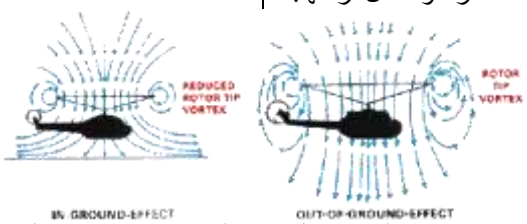
2- التأثير الأرضي (Ground effect)

لقد تم اكتشاف ظاهرة التأثير الأرضي في الطيران منذ عشرينيات القرن الماضي؛ ففي عام 1921، قدم كارل فيسلس بيرغر وصفاً نظرياً مفصلاً للتأثير الأرضي. وتبعه موريس لو سويور، الذي نشر تقريراً مفصلا عن طرق الاستفادة من التأثير الأرضي في عام 1934، والذي تم ترجمته إلى اللغة الإنجليزية من قبل اللجنة الاستشارية الوطنية للملاحة الجوية (NACA). (Maurice Le Sueur, 1934) ثم قام المهندس الفنلندي توفيو كاريو في عام 1935. بتصميم سلسلة من المركبات التي تعمل وفق مبدأ التأثير الأرضي. التأثير الأرضي هو ظاهرة ديناميكية هوائية تتعلق بالرفع والسحب الديناميكي الهوائي الناشئ عن حركة الجناح بالقرب من سطح كسطح الماء اوالأرض. وذلك باعتبار ان الأرض جزء من النظام الديناميكي الهوائي، ومن هنا جاء اسم "التأثير الأرضي". فأثناء إقلاع الطائرة يزيد التأثير الأرضي من معامل الرفع عن طريق انحراف تدفق الهواء القادم إلى أسفل الجناح مما يجعل ضغط الهواء على الجانب السفلي من الجناح أعلى بسبب تأثير ما يعرف ب"الوسادة الهوائية". وبفضل هذه الظاهرة يمكن زيادة نسبة قوة الرفع باستخدام زاوية هجوم عند نفس السرعة، وكلما اقترب الجناح من الأرض، أصبح التأثير الأرضي أكثر وضوحاً مما يمكن للطيار من التحليق فوق المدرج مسرعاً حتى تصل الطائرة إلى سرعة طياران امنة. اما عند هبوط الطائرة يقلل التأثير الأرضي مؤقتاً من معدل الهبوط مما يعطي انطباعاً للطيار بأن الطائرة تطفو. ويوضح الشكل (13) الفرق بين تدفق الهواء حول الجناح خارج وداخل مجال التأثير الأرضي. (FAA, 2007)



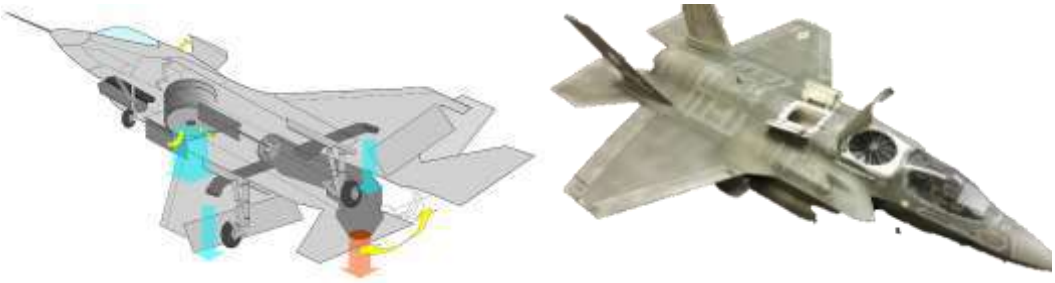
شكل (13) يوضح الفرق بين تدفق الهواء حول الجناح خارج وداخل مجال التأثير الأرضي.
(https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Fl%C3%BCgel_ohne_Bodeneffekt.png.)

كما تستفيد طائرات الإقلاع العمودي من التأثير الأرضي فعندما تحلق طائرة بالقرب من الأرض او الماء على ارتفاع يساوي تقريباً طول جناحي الطائرة أوقطر دوار المروحية، ينشأ التأثير الأرضي الذي يسبب قطع دوره دوامات تدفق الهواء من أعلى الي أسفل الأجنحة او الدوار. فإذا كانت الأجنحة قريبة جداً من الأرض، فإن دوامات الأجنحة لا تنشأ بسبب قربها من سطح الأرض ولا تتشكل بشكل فعال وهو ما يطلق عليه "تدفق النافورة". نتيجةً لذلك، ينخفض السحب المستحث وتزيد سرعة الطائرة ومعامل رفعها. ويوضح الشكل (14) الفرق بين تدفق الهواء حول دوار المروحية خارج وداخل مجال التأثير الأرضي. وقد تم تضمين هذا التأثير في تصميم الطائرات المستخدم في سلاح البحرية الامريكية لاضفاء ميزه الهبوط العمودي علي سطح حاملات الطائرات. ويوضح الشكل (15) طائرة F-35B تظهر فتح باب حجرة الضغط للاسفادة من تدفق النافورة للهبوط العمودي.
(Pradeep Kumar Dey, 2013)



شكل (14) يوضح الفرق بين تدفق الهواء حول دوار المروحية خارج وداخل مجال التأثير الأرضي.
(https://www.slideshare.net/slideshow/helicopteraerodynamics/38140491)

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is properly cited.

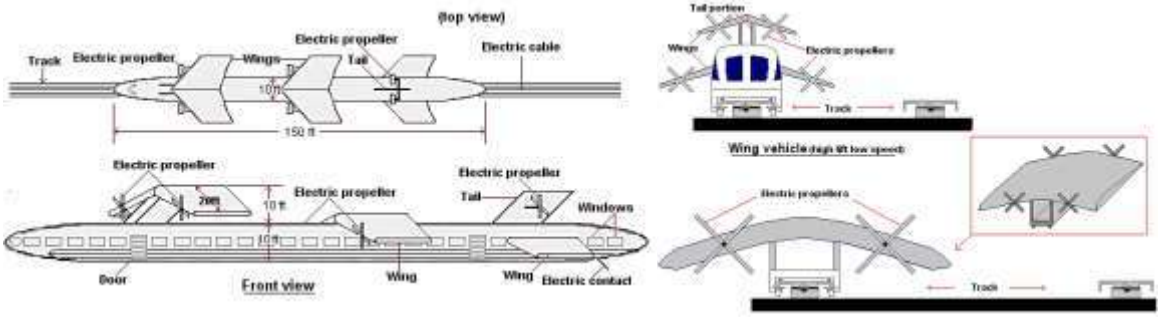


شكل (15) يوضح طائرة F-35B تظهر فتح باب حجرة الضغط للاستفاده من تدفق النافورة للهبوط العمودي.
(https://www.alhadath.ps/article/30124/.)

وقد تم استحداث فئة جديدة من المركبات المصممه للاعتماد بشكل رئيسي علي تأثير الجناح في نطاق التأثير الأرضي والاستفادة التفاعل الديناميكي الهوائي بين الجناح المتحرك والسطح أدناه. وتعرف بمركبات التأثير الأرضي (GEV)، حيث إن وضع نفس الجناح بالقرب من سطح مثل الماء أو الأرض يزيد من ضغط الهواء على الجانب السفلي، بينما يقلل الضغط عبر الجزء العلوي. وهو ما له نفس تأثير زيادة نسبة العرض إلى طول الجناح كما في الطائرات الشراعية التي تتمتع بأجنحة طويلة ونحيلة بالإضافة الي منع دوامات قمة الجناح من التشكل. مما يمكن الاجنحة القصيرة في مركبات GEV أن تنتج نفس القدر من الرفع الذي ينتجه الجناح الأكبر لطائرة النقل، وعلى الرغم من أن مركبات GEV قد تبدو مشابهة للطائرات وتشترك في العديد من الخصائص التقنية، إلا أنها عمومًا ليست مصممة للطيران بعيدًا عن التأثير الأرضي. ويوضح الشكل (16) يوضح مركبة (Korabl Maket) التجسس الروسية ذات التأثير الأرضي التي تم تطويرها في الاتحاد السوفيتي في الستينيات من قبل المكتب المركزي لتصميم القوارب المائية خلال الحرب الباردة. وقد تم تصميمها للطيران على ارتفاع 5-10 أمتار علي سطح الماء. مما جعلها غير قابل للاكتشاف من أنظمة الرادار، لأنها تطير تحت الحد الأدنى لارتفاع الكشف.
(Liang Yun & Alan Bliault, 2012)

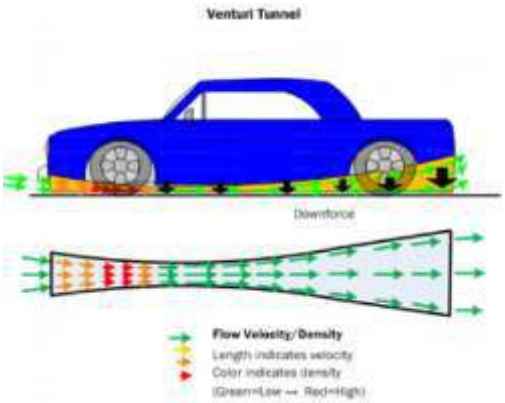
شكل (16) يوضح مركبة (Korabl Maket) الروسية ذات التأثير الأرضي.
(https://milan-news.ir/)

وقد تم تقديم مقترح بديل لمفهوم قطار الرفع المغناطيسي (Maglev) وهو قطار التأثير الأرضي (Ground-effect train). وفي كلا المفهومين، يكون الهدف هو منع المركبة من الاتصال بالأرض. وعلي نقيض قطار Maglev الذي ينجز هذا من خلال استخدام قوي تنافر الأقطاب المغناطيسية، يستخدم قطار التأثير الأرضي تصميم "الجناح في تأثير الأرض". بواسطة أجنحة مترادفة مثبتة اعلي هيكل القطار. ويعتقد المهندسون بفضل هذا اتأثير أنهم سيكونون قادرين على إنشاء قطارات تستخدم فقط ربع الطاقة اللازمة للقطارات المرفوعة مغناطيسيًا (ماجليف). وقد تم انشاء نموذج بحثي يسمى Aerotrain، وتم تصميم القطار ليكون مدعومًا بالكامل بواسطة طاقة الرياح والطاقة الشمسية مما يجعله نظام نقل صفر كربون حقيقي. وخلال الاختبارات الأخيرة، انطلق قطار التأثير الأرضي ووصل إلى سرعة 50 كيلومترًا في الساعة. ويوضح شكل (17) تصميم قطار التأثير الأرضي (Aerotrain).
(Ania monaco, 2011)



شكل (17) يوضح تصميم قطار التأثير الأرضي (Aerotrain).

كما تم استغلال التأثير الأرضي في تصميم السيارات لإنشاء قوة سفلية. فهدف المصمم هو زيادة القوة السفلية لتحقيق سرعات أعلى في المنعطفات. ويتحقق ذلك من خلال فهم أن الأرض جزء من النظام الديناميكي الهوائي، قام المصممون بتحويل جهودهم لفهم تدفق الهواء حول المحيط الجسم والجوانب السفلية للمركبة لزيادة القوة الضاغطة مع سحب أقل مقارنةً باستخدام الجناح. عندما تتحرك سيارة فوق الأرض، تصبح الطبقة الحدودية بين السطحين على الأرض مفيدة. فإنها تسحب الهواء فوقها وتجعلها تتحرك بشكل أسرع. وهذا يعزز تأثير القوة السفلية. ويوضح الشكل (18) ألية تحقيق مبدأ بيرنولي للاستفاده من التأثير الأرضي لإنشاء القوة السفلية للسيارة. (Allan McAlpine, 2022)



شكل (18) يوضح ألية تحقيق مبدأ بيرنولي للاستفاده من التأثير الأرضي لإنشاء القوة السفلية للسيارة.
(https://www.researchgate.net/figure/enturi-Model-in-a-Car_fig1_373161227)

وفي نطاق اهتمام المصممين للاستفادة من الحصيلة التطبيقية لمركبات التأثير الارضي. أظهر مهندسو شركة فورد في 1958، نموذجًا لسيارة (air Glide) كما هو موضح بالشكل (19)، وهي من نوع المركبات المعروفة باسم المركبة ذات الوسادة الهوائية (ACV)، وهي سيارة بدون عجلات تتحرك بسرعة على طبقة رقيقة من الهواء. عن طريق استخدام المراوح لسحب ونفخ الهواء بواسطة فتحات أو ثقوب او من منصة دائرية مدمجة بالجزء الخارجي للمركبة لإنتاج فرق ضغط بين الهواء عالي الضغط أسفل الهيكل والهواء المحيط الأقل ضغطا، مما يتسبب في طفو الهيكل. وأفاد أندرو كوتشر، نائب رئيس شركة فورد المسؤول عن الهندسة والبحث، قوله "نحن ننظر إلى (air Glide) كشكل جديد من أشكال النقل البري عالي السرعة". ويوضح شكل (20) تصميم مستقبلي لسياره ذات الوسادة الهوائية من فولكس فاجن.
(David Scott, 1958)

شكل (19) يوضح نموذج (air Glide) المبني علي مفهوم الوسادة الهوائية، أواخر الخمسينيات.
(https://www.flickr.com/photos/dews-pics/169649151/in/photostream/)

شكل (20) يوضح تصميم مستقبلي لسياره ذات الوسادة الهوائية من فولكس فاجن.
(https://es.pinterest.com/pin/563231497135828594/)

3- تأثير كواندا (The Coanda effect)

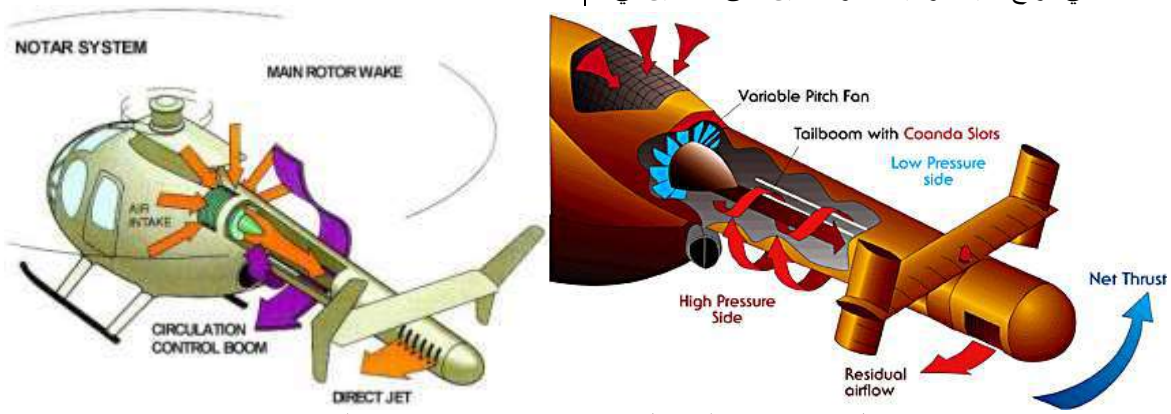
سُمي تأير كواندا على اسم المخترع الروماني هنري كواندا وهو أول من أدرك التطبيق العملي لهذه الظاهرة في تصميم الطائرات عام 1910. ويوصف التأثير بأنه ميل الموائع منخفضة الضغط للبقاء متصلة بسطح منحني اومحدب. وقد تم استخدام هذا التأثير في تصميم العديد من أجزاء الطائرات وخاصة الأجزاء المسؤلة عن انتاج الرفع العالي، حيث يتم تصميم المقطع العرضي للجناح (الايرفويل) باستخدام عدة محددات من اهمهما خط الانحناء وهو المسؤل عن دفع تدفق الهواء المتحرك فوق السطح العلوي للجناح نحو الأرض. حيث يؤدي التدفق عالي السرعة فوق الجناح إلى تقليل الضغط علي السطح العلوي وبالتالي زيادة الرفع الديناميكي هوائي.
(Caroline Lubert, 2011)

وخلال السنوات الأولى من الحرب الباردة عام 1958 طورت شركة Avro Aircraft Ltd. طائرة للإقلاع والهبوط العمودي ("VZ-9" Avrocar) كما هو موضح بالشكل (21) كجزء من مشروع عسكري سري للولايات المتحدة يهدف إلى استغلال تأثير كواندا لتوفير الرفع والدفع من خلال محرك توربيني واحد ينفخ العادم من حافة طائرة على شكل قرص او وعاء مقلوب لتوفير أداء متوقع يشبه طائرات الإقلاع العمودي ويولد حركة إلى الأمام إذا كان مائلاً بمقدار 90 درجة. وهو التفسير العلمي لالية عمل الطبق الطائر.
(Bernard Lindenbaum & William Blake, 2006)

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is properly cited.

شكل (21) يوضح مركبة (Avrocar "VZ-9") والية عملها.
(https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Colour_avrocar_59.jpg&oldid=865221261.)

وفي تصميم الطائرات المروحية. قامت شركة (Hughes Helicopters) عام 1975 بتطوير مفهوم نظام نوتار (NOTAR) وهو اختصار لعبارة "لا يوجد دوار ذيل"، وهو نظام هليكوبتر مضاد لعزم الدوران لتجنب استخدام مروحة الذيل في المروحية. حيث يتم الاستفاده من عادم المحرك نفاث عالي الضغط من خلال دفعه في ذراع الذيل لتوجيهه نحو فتحتين على الجانبين في نهاية ذراع الذيل، مما يتسبب في وجود تدفق هوائي علي جدار ذراع الذيل بفعل تأثير كواندا، مما يوفر تحكمًا اتجاهيًا في اثناء الميل وإنتاج قوة عزم الدوران المضاد. ويوضح الشكل (22) الية عمل نظام (NOTAR) في طائرة هليكوبتر.
(Gerard Frawley, 2003)



شكل (22) يوضح الية عمل نظام (NOTAR) في طائرة هليكوبتر.
(https://archive.ph/20000527162120/http://www.kulikovair.com/Notar.htm)

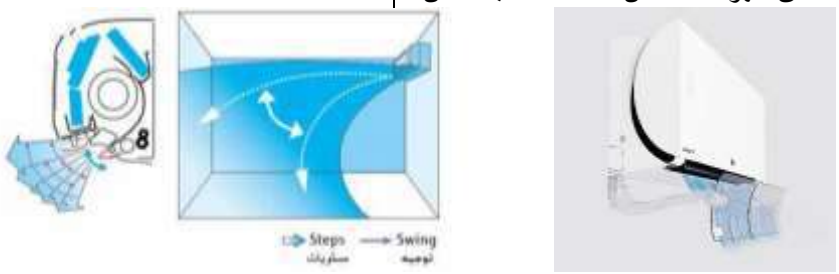
ومؤخرا تم ابتكار نظام الدفع (Fluidic) الحاصل على براءة اختراع من خلال شركة (Jetoptera). وهو عباره عن استخدام مضخة لضغط الهواء وإعادة نفخه من خلال جزئين وظيفيين مصممين للاستفادة من تأثير كواندا لتحفيز زيادة سرعة حركة الهواء لتوليد الدفع والرفع. ويمكن نشر نظام الدفع (Fluidic) على العديد من الطائرات بما في ذلك الطائرات الشراعية. وتعد طائرة (J-2000) الوضحة بالشكل (23) هي الأفضل أداء لدي الشركة ويتم الترويج لها بأنها طائرة يومية صديقة للبيئة.
(Jetoptera, 2020)

شكل (23) يوضح طائرة (J-2000) من شركة (Jetoptera).
(https://www.jetoptera.com/products/)

كما تم استغلال تأثير كواندا من قبل فرق ماكلارين وعلي رأسهم المهندس أدريان نيوي في تصميم سيارة (McLaren MP4-27) لحل مشكلة مخرج العادم وفقا لاشتراطات لوائح سباق الفورميلا وان، حيث تم توجيه مخرج غازات العادم الساخنة نحو السطح العلوي من الجزء الخلفي من السيارة. والذي يساعد على تحويل تدفق الهواء نحو الجناح والعجلات الخلفية، وبفضل تأثير كواندا يتم اجبار الهواء الساخن على البقاء متصلا بالاطارات والجناح الخلفي مما يعمل علي خفض السحب المستحث. بالاضافة الي زيادة القوة الضاغطة السفلية علي موخرة السيارة. ويوضح الشكل (24) يوضح تحديد موضع العادم لسيارة ماكلارين MP4-27.
(Gary Anderson, 2012)

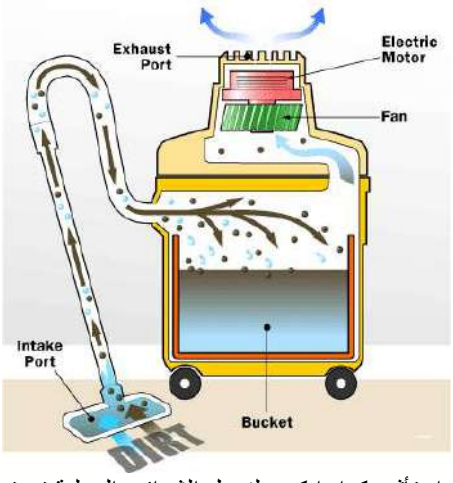
شكل (24) يوضح تحديد موضع العادم لسيارة (McLaren MP4-27).
(https://fast-mag.com/los-secretos-del-auto-f1-2012/).

وفي تصميم الأجهزة المنزلية يتم استغلال تأثير كواندا في تصميم ناشر مكيف الهواء لزيادة مسافة رمي الناشر المثبت علي مخرج الهواء كما هو موضح بالشكل (25). وذلك نظرًا لأن الناشر المنحني يتسبب في التصاق الهواء منخفض الضغط المنبعث من المكيف، فإنه ينتقل لمسافة أبعد. بالإضافة لذلك فهو يعمل على خفض سرعة التفريغ مما يساعد علي خفض مستويات ضوضاء. (Hitomi & Takashi & Daisuke, 2019)



شكل (25) يوضح تأثير استخدام ناشر مكيف الهواء علي زيادة مسافة نشر الهواء.
(https://www.general-hvac.com/mea/products/split/wall/abcy/index.html.)

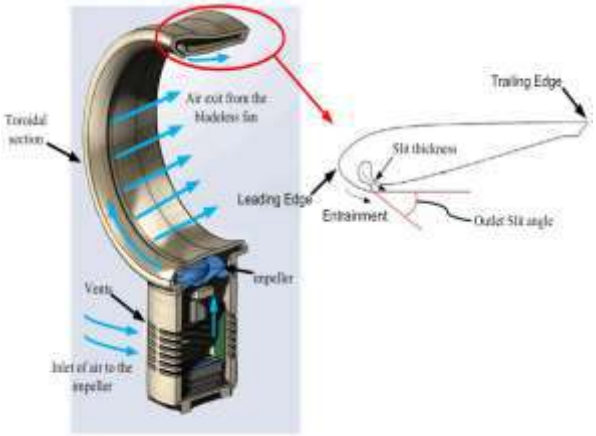
كما يتم الاستخدام العملي لتأثير كواندا في شبكات الطاقة الكهرومائية لفصل الاجسام الصلبة اوالأسماك عن التدفق الحر للماء، حيث يتم تصميم انحناء مصطنع في مجري التدفق مما ساعد في تدفق الماء عبر الانحناء في حين يسقط الحطام بفعل قوي القصور الذاتي دون إزالة ميكانيكية، وهو نفس مبدء عمل فصل الشوائب الصلبة في تصميم المكانس الكهربائية كما يوضح الشكل (26). (Tomasz Paleczny, 2004)



شكل (26) يوضح استخدام تأثير كواندا كبدء لفصل الشوائب الصلبة في تصميم المكنسة الكهربائية
(https://afdall.com/how-vacuum-cleaner-works/)

ابتكرت توشيبا مفهوم المروحة الخالية من الشفرات (bladeless fan) في عام 1981. المروحة الخالية من الشفرة هي نوع من أجهزة تدوير الهواء التي لا تستخدم أي شفرات أو أي أجزاء متحركة أخرى، وكتطوير لهذا المفهوم في عام 2009، اخترع صانع التكنولوجيا البريطاني جيمس دايسون منتج (Air Multiplier) الذي يحتوي على مروحة ضغط مخفية داخل القاعدة تقوم بدفع الهواء في تجويف ناشر الهواء العلوي المصمم للاستفاده من تأثير كواندا عن طريق خلق فرقًا في الضغط بين جانبي المروحة. فالهواء القريب من الحافة الأمامية يكون ضغطه أقل، بينما الهواء القريب من الحافة الخلفية يكون ضغطه أعلى. ونظرًا لاختلاف الضغط، يتم تحفيز الهواء المحيط للحركة من الحافة الخلفية إلى الحافة الأمامية. مما يؤدي إلى مضاعفة تدفق الهواء. وقد كان هذا التصميم أكثر هدوءًا وموثوقية وكفاءة في استخدام الطاقة. ويوضح الشكل (27) الية عمل المراوح الخالية من الشفرات. (Vedant Joshi & Wedyn Noronha, 2023)

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is properly cited.



شكل (27) يوضح الية عمل المراوح الخالية من الشفرات.
(https://www.researchgate.net/figure/Eppler-473-Airfoil-Profile-with-the-depiction-of-outlet-slit-and-height-of-cross-section_fig1_365743208)

4- تأثير الستارة الهوائية (Air curtain)

ستارة الهواء عبارة عن تيار هوائي منخفض الضغط يمثل حاجز غير مرئي للفصل بكفاءة بين بيئتين مختلفتين. وتعرف جمعية الحركة والتحكم في الهواء (AMCA) ستارة الهواء بأنها: "تيار هوائي يتم التحكم فيه اتجاهيًا، ويتحرك عبر كامل ارتفاع وعرض الفتحة نفخ الهواء منخفض الضغط، مما يحد من الانتقال الهوائي من أحد جانبي الفتحة". وتعد الستارة الهوائية هي المبدء الرئيسي لاليه عمل باب الهواء حيث تعرف الجمعية الأمريكية لمهندسي تدفئة وتبريد وتكييف الهواء (ASHRAE) باب الهواء علي انه: " ستارة هوائية تمتد علي عرض المدخل بأكمله تعمل علي منع تسلل الهواء غير المكيف إلى مكان مكيف، وتصل نسبة فعاليته عمومًا من 60 إلى 80%". (ASHRAE, 2004)

وغالبًا ما تُستخدم أبواب الهواء في الأنشطة التجارية لتحقيق تأثير الباب المفتوح والسماح للأشخاص برؤية المعروض داخل المتجر بما ينعكس علي زيادة المبيعات. كما يستخدم في تجهيز المنشئات الصحية فهو يعمل كحاجز لمنع دخول الآفات والحشرات والغبار المحمول في الهواء والتلوث والأبخرة والروائح الكريهة مما يساعد في الحفاظ على بيئة صحية. بالإضافة الي عدم وجود عائق مادي في المدخل مما يوفر الرؤية واضحة لتجنب الاصطدامات وتعزيز سهولة الإخلاء في حالة نشوب حريق أو الطوارئ. ويعد الاستخدام الأهم لباب الهواء في تقليل فقدان الطاقة من المساحة المكيفة في أنظمة التبريد والتكييف. وعلي سبيل المثال وليس الحصر يعد فقدان الطاقة الناجم عن عمليات التحميل والتفريغ في الشاحنات المبردة له تكاليف باهظة جدًا على شركات النقل. ولذلك تم تصميم باب هواء للشاحنات المبردة (Airtrack) خصيصًا لتجنب هذه الخسائر كما هو موضح بالشكل (28)، مما يحقق توفيرًا في الوقود يصل إلى 30%.

(Ashika Rai & Jining Sun & Savvas Tassou, 2019)

شكل (28) استخدام باب هواء الشاحنات (Airtrack) علي الشاحنات المبردة.
(https://www.airtecnics.com/products/air-curtain-airtrack)

وفي قطاع تصميم المركبات تعتبر ستائر الهواء طريقة جديدة نسبيًا لتحسين الديناميكا الهوائية ظهرت لأول مرة في سيارة فورد موستانج قبل بضع سنوات، وقد تم تقديمها لحل مشكلة تدفق الكثير الهواء فوق الجزء العلوي من السيارة وتحتها. لكن نسبة كبيرة من الهواء تلتف حول الجوانب وتتدفق على طول جانبي السيارة. ويكمن تأثير التدفق الجانبي علي زيادة نسبة السحب بسبب اضطراب التدفق اثناء مروره فوق العجلات الأمامية. ونظرًا لأن استخدام تكسيات لإحاطة العجلات الامامية لتسهيل تدفق الهواء ليس عمليًا أو جذابًا، يتم العمل علي دفع الهواء عبر قناة او ممر في الزوايا الأمامية السفلية للسيارة تسمح للهواء بالتدفق أسفل المصابيح الأمامية إلى مبيتات العجلات الأمامية. فإذا قمنا بإزالة العجلة الأمامية، فسنجد فتحة رأسية رفيعة في بطانة الحماية التي تعمل علي تدفق الهواء القادم من القنوات الموجودة في المصد أمام العجلة الأمامية الي خارج مبيتات العجل. ومن خلال توجيه تدفق الهواء على طول هذا المسار، تعمل ستارة الهواء على خلق جدارًا من الهواء عالي السرعة يعمل على منع تدفق الهواء من الانكسار عند العجلات كنتيجة مشابهه لاستخدام التنورة الجانبية لتقليل السحب ولكن مع ترك العجلات مكشوفة بالكامل. كما أنها يضيف الطاقة والسرعة إلى تدفق الهواء ويحسن رحلته إلى الخلف ويحسن عملية التبادل الحراري لتبريد أقراص الفرامل كما هو موضح بالشكل (29). وقد تم اعتمادها كاستراتيجية تصميمية من شركات صناعة السيارات وقامت بتطبيقها كجزء من تصميمات سياراتهم بجميع فئاتها من سيارات السيدان إلى شاحنات النقل.

(Jessica Shea Choksey, 2022)

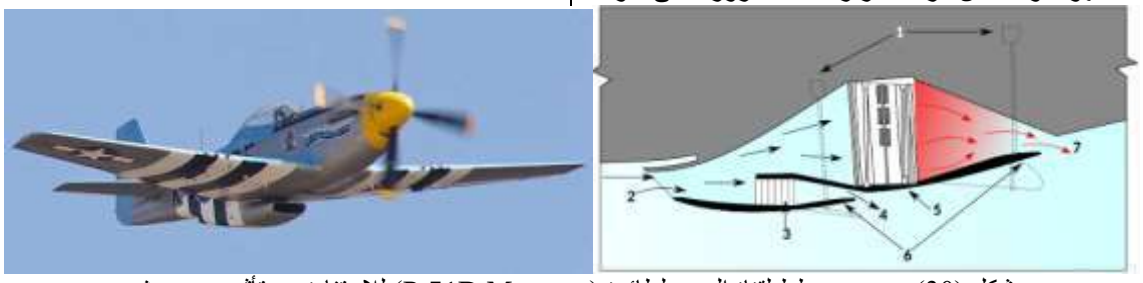
شكل (29) يوضح استخدام سيارات بي ام دابليو الستارة الهوائية لتعزيز الديناميكا الهوائية وتبريد أقراص الفرامل.
(https://www.bmw.fr/fr/topics/univers/technologies-bmw/efficient-dynamics/aerodynamique.html)

5- تأثير ميريديث (Meredith effect)

بتأمل المهندس البريطاني إف دبليو ميريديث الذي عمل في مؤسسة الطائرات الملكية في مبدء عمل المبادل الحراري، أدرك أن ما كان يُنظر إليه تقليديًا على أنه حرارة مهدرة يتم نقلها إلى الغلاف الجوي. فانه لايجب فقدان هذه الطاقة حيث تضيف الحرارة طاقة إلى تدفق الهواء، يمكن استخدامها لتوليد قوة الدفع. وتعويض السحب الديناميكي الهوائي الناتج عن المبادل الحراري وقام بنشر مفهومه عام 1936. (F. W Meredith, 1936)

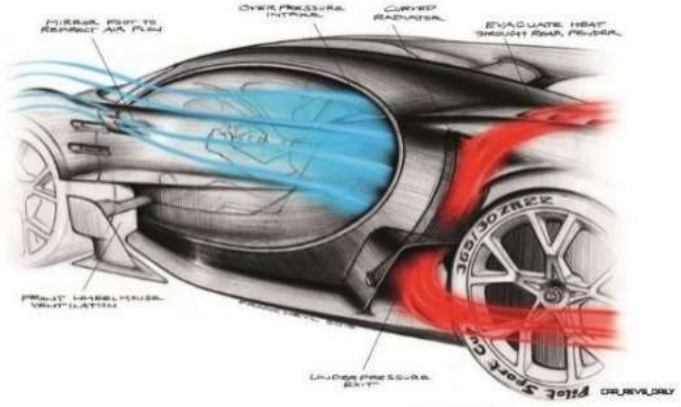
يحدث تأثير ميريديث عندما يتم تسخين الهواء المتدفق بواسطة مبادل حراري يحتوي على سائل تبريد ساخن مثل الإيثلين جلايكول يحمل الطاقة الحرارية مهدورة من محرك الاحتراق الداخلي. ولتضمين الاستفاد من هذا التأثير يتم تصميم قناة التبريد تحتوي علي المبادل الحراري ويجب أن يتحرك الهواء بسرعة كبيرة داخل القناة. وفي البداية يواجه الهواء المتدفق إلى القناة مقاومة السحب من سطح المبادل الحراري ويتم ضغطه بسبب رفع درجة حرارة الهواء وزيادة حجمه. ثم يخرج الهواء الساخن المضغوط من خلال قناة العادم التي تم تصميمها لتكون مسلوبة، أي تضيق باتجاه الخلف. حيث يتمدد الهواء وتنخفض درجة حرارته أثناء مروره على طول القناة، قبل أن يخرج لينضم إلى تدفق الهواء الخارجي. وهكذا يتم تحقيق العمليات الثلاث لدورة برايتون المفتوحة: الضغط، وإضافة الحرارة، والتمدد. ويعتمد مقدار الدفع الإضافي الذي يمكن الحصول عليه من خلال تأثير ميريديث على نسبة ضغط التدفق الهوائي بين داخل القناة وخارجها ودرجة حرارة سائل التبريد. فإذا تجاوز الدفع المتولد السحب الديناميكي الهوائي لمدخل القناة فإن المنظومة ستساهم بأكملها في دفع اضافي للمركبة.

أصبح تطبيق هذه الظاهرة يعرف باسم "تأثير ميريديث" وسرعان ما تم تبنيه من قبل مصممي النماذج الأولية للطائرات المقاتلة التي كانت قيد التطوير آنذاك، بما في ذلك Supermarine Spitfire، P-51D Mustang. حيث تم تبريد محرك Rolls-Royce PV-12، المثبت علي طائرة سبيتفاير وتم دمج مبادل حراري وقناه التبريد لاختبار تأثير ميريديث وقامت الطائرة بأول رحلة للنموذج الأولي في 1936. وأصبح التأثير أكثر أهمية لزيادة سرعات الطائرات ذات المحركات المكبسية. ويوضح شكل (30) مخطط لقناة المبرد لطائرة (P-51D Mustang) للاستفادة من تأثير ميريديث. (Mat Oxley, 2021)



شكل (30) يوضح مخطط لقناة المبرد لطائرة (P-51D Mustang) للاستفادة من تأثير ميريديث.
(https://www.motorsportmagazine.com/articles/motorcycles/motogp/is-ducati-using-ground-effect)

وبسبب تشابه مبادئ تشغيل محركات الطائرات المكبسية بمحركات السيارات فقد تم استخدام تأثير ميريديث في قطاع تصميم السيارات ذات المحرك الخلفي عالية الأداء مما ساهم علي التغير الكبير في التصميم الشكلي والادائي لهذه المركبات. حيث استلزم تضمين تأثير ميريديث في تصميم السيارات وضع مبادلين حراريين مترادفين علي جانبي السيارة وتصميم جانبي السيارة بشكل يتضمن الية عمل قناه التبريد. وقد ساهم تصميم الأنفاق الجانبية أيضا في الحد من انزلاق الجانبي لتدفق الهواء. وتم إضافة هذا التأثير الي سيارات بورشا وبوجاتي واستن مارتن الفورميلا وان وغيرها. ويوضح شكل (31) اسكتش توضيحي لدمج تأثير ميريديث في سيارة بوجاتي فيرون. (Luca Piancastelli & Leonardo Frizziero & Giampiero Donnici, 2015)



شكل (31) يوضح اسكتش توضيحي لدمج تأثير ميريديث في سيارة بوجاتي فيرون.
(https://www.carbodydesign.com/image/66184/.)

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is properly cited.

6- تأثير المدخنة (The stack effect)

يفسر تأثير المدخنة سلوك التبادل الهوائي بين البيئة الداخلية والمحيط الخارجي لكلا من بيئة العمل او العمارة او المنتج او النظام، وبايجاز شديد فان تأثير المدخنة هو ظاهرة طفو الهواء الذي يحدث بسبب الاختلاف في كثافة الهواء الناتج عن اختلافات درجة الحرارة أوالضغط أوالرطوبة. بين الهواء الخارجي والهواء داخل بيئة العمل سواء كانت في مبني يضم عدد من الافراد او هيكل خارجي لمنتج يحتوي على مكونات تشغيل ميكانيكية. ونتيجة لتفاوت اختلاف الكثافة بين أجزاء المائع تتشكل تيارات صعود وهبوط داخل المائع سواء كان هواء او ماء وهي ما تعرف بتيارات الحمل الحراري. وهناك طريقتين اساسيين لتشكل تيارات الحمل الحراري وهما: -

الحمل الحراري الطبيعي: يحدث الحمل الحراري الطبيعي نتيجة ميل معظم الموائع إلى التمدد عند تسخينها، حيث توسع الجزيئات الساخنة المساحة البينية عن طريق زيادة سرعتها، مما يؤدي إلى انخفاض الكثافة فترتفع لأعلى، ثم تبرد فتزيد كثافتها وتهبط إلى أسفل مرة اخري.

الحمل الحراري الجبري: تختلف مسببات الحمل الحراري الجبري عن الحمل الحراري الطبيعي. فبدلا من ارتفاع درجة حرارة الهواء بشكل طبيعي مما ينتج عنه تغير في الكثافة. يتم استخدام المروحة أو المضخات لغيير ضغط المائع في الحمل الحراري الجبري.

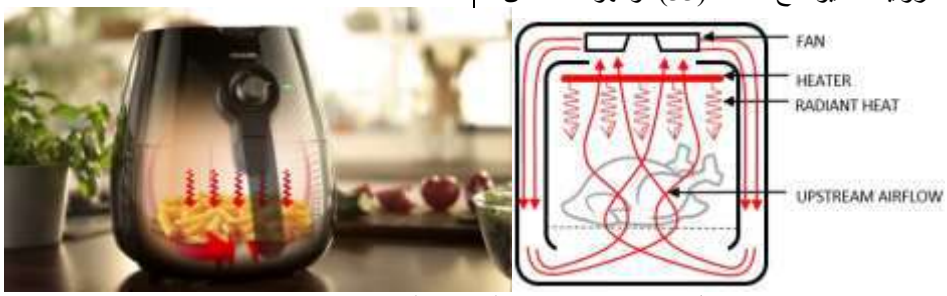
في تصميم العمارة القديمة وقبل اختراع المراوح كانت يتم تهوية المباني باستخدام تأثير المدخنة. وذلك عن طريق التصميم المترادف لفتحات التهوية لخلق تيار هوائي داخل المبني. بالإضافة الي دمج اشكال وظيفية في تصميم سقف المبني كالتبوليوم وملاقف الهواء وحرف (V) المقلوب. حيث يعمل هذا التصميم خلال موسم الصيف علي طرد الهواء الأكثر دفئا الذي يرتفع لاعلي من خلال فتحات التهوية الموجودة الي السقف. ويؤدي ارتفاع الهواء الدافئ إلى تقليل الضغط في قاعدة المبنى، مما يؤدي إلى سحب الهواء البارد من خلال الأبواب المفتوحة أو النوافذ. اما خلال موسم الشتاء يتم عكس تأثير المدخنة، ولكنه عادة ما يكون أضعف بسبب انخفاض اختلافات درجات الحرارة. لذا فهو شائع الاستخدام في المناطق الحارة. ويوضح شكل (32) الهيكل البنائي للتصميم المعماري للاستفادة من التهوية السلبية في بيئة العمل.

(Afaq Hyder Chohan & Jihad Awad, 2022)

شكل (32) الهيكل البنائي للتصميم المعماري للاستفادة من التهوية السلبية في بيئة العمل.

)/(https://www.linkedin.com/pulse/what-cross-breeze-paths-buildings-importance-geu4f

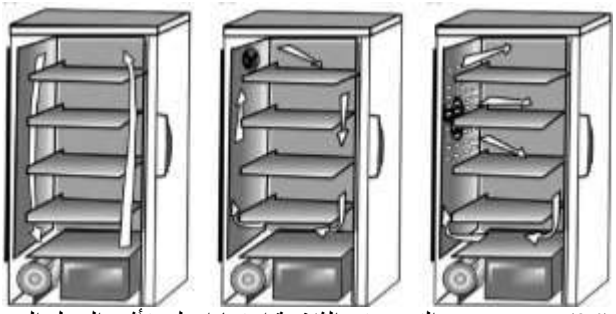
وفي قطاع تصميم الأجهزة المنزلية حظيت المقلاة الهوائية التي قدمتها شركة فيليبس لأول مرة في عام 2010 والتي استبدلت الزيت بالهواء كوسط لنقل الحرارة، باهتمام كبير لقدرته على قلي الأطعمة باستخدام الهواء في فترة زمنية قصيرة وبكمية أقل بكثير من الزيت. حيث تعتمد المقلاة الهوائية في عملية الطهي على تقنية الهواء السريع، حيث يشع عنصر التسخين الموجود في الجزء العلوي من الجهاز الحرارة، بينما تقوم المروحة بدفع الهواء الساخن الي اسفل عبر قناة خاصة الي اسفل درج الطهي وافلاته يصعد بتأثير قوي الحمل الحراري لضمان تدوير الهواء بسرعة حول الطعام لتسخينه بالتساوي من جميع الزوايا كما يوضح الشكل (33). والهواء الساخن الذي يدور بسرعة داخل الحجرة مسؤولاً عن إزالة الرطوبة من الطعام. وبسبب ان الهواء يحمل حرارة أقل لكل وحدة حجم مقارنة بزيوت القلي، يجب تحريكه بمعدل أسرع لتحقيق نفس تأثير القلي والوصول إلى درجة الحرارة 140-165 درجة مئوية. ويضمن التصميم المحكم الغلق والمضغوط للمقلاة الهوائية احتواء كل الهواء في الحجرة وتدفقه بنشاط حول الطعام مما يعزز كثافة وكفاءة الطهي. وفي الوقت نفسه، تتسرب الدهون الزائدة إلى حجرة أسفل الطعام للتخلص منها، مما يقلل بشكل كبير من كمية الدهون التي يستهلكها المستخدم في النهاية. (Ann Chen, 2016)



شكل (33) يوضح دورة التسخين الهوائي في الايرفراير.

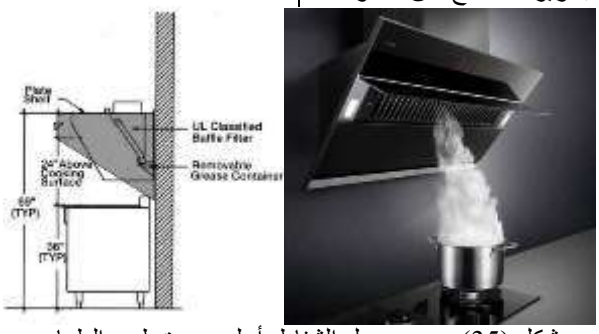
(https://locknlockvietnam.com/cong-nghe-o-noi-chien-khong-dau-locknlock.html)

وفي تصميم الثلاجات عادة ما يتم تصميم وحدة التجميد أعلى الثلاجة حيث يتم تبريد الهواء مما يبطئ من سرعة الجزيئات التي تفقد الطاقة وبالتالي تقل كثافتها فتهبط لاسفل لمساحة التبريد، بينما يرتفع الهواء الدافئ بمساحة التبريد بسبب انخفاض كثافته النسبية لينتقل إلى وحدة التجميد فيتم تبريده وتزيادة كثافته النسبية. وتتكرر هذه الدورة لضمان توزيع البرودة بشكل متساوي داخل الثلاجة. ويوضح الشكل (34) يوضح دورة التبريد في الثلاجة اعتمادا علي تأثير الحمل الحراري. (Onrawee Laguerre, 2010)



شكل (34) يوضح دورة التبريد في الثلاجة اعتمادا علي تأثير الحمل الحراري.
(https://www.researchgate.net/figure/Three-types-of-refrigerator-a-static-b-brewed-c-no-frost_fig1_335732474)

وقد يضع تأثير المدخنة بعض الاشتراطات لضمان فاعية أداء وظيفه بعض المنتج حيث يتم تثبيت وحدات شفاطات البخار اعلي وحدة طهي الطعام مباشرة كما هو موضح بالشكل (35). وذلك لضمان سرعة شفط البخار المحمل بالزيوت الناتج من السوائل الساخنة عند طهي الطعام والذي يرتفع لاعلي بسبب كثافته المنخفضة مما يمنع انتشار الروائح وتراكم الشحوم داخل المطبخ.
(R. Swierczyna & P. Sobiski & D.Fisher, 2006)



شكل (35) يوضح عمل الشفاط أعلي وحدة طهي الطعام.
(https://www.academia.edu/Fundamentals_of_Kitchen_Ventilation_System_Design_Hood_Selection_and_Sizing)

كما يتم تركيب أجهزة التهوية وتكييف الهواء في الجزء العلوي من مساحة المعيشة. حيث تعمل علي تدوير الهواء الساخن الأقل كثافة الذي يتراكم في اعلي المساحة وتستبدله بالهواء البارد الكثيف الذي ينتقل إلى أسفل المساحة. ويوضح الشكل (36) استخدام أجهزة التهوية وتكييف الهواء المنزلية لتيارات الحمل الحراري. وعلي النقيض تعمل أجهزة التدفئة على زيادة درجة حرارة جزيئات الهواء المحيطة بها، فتقل كثافة الهواء القريب منها وترتفع إلى أعلى ويحل محله هواء أقل كثافة مع حرارة أقل. مما يجعل الشخص الجالس بالقرب من المدفأة أن يشعر بالحرارة على جسمه دون الحاجة إلى لمس المدفأة.
(Satoru OZAWA & Kazuhiro HAYASHI, 2016)

شكل (36) استخدام أجهزة التهوية وتكييف الهواء المنزلية لتيارات الحمل الحراري.
(https://www.daikin.com.my/ventilation/)

7- التبريد الهوائي (Air cooling)

التبريد الهوائي هو احدي وسائل التبادل الحراري الفعالة التي يتم استخدامها في تصميم القطع الميكانيكية والالكترونية. ويتم الاستفادة من ذلك التأثير عن طريق زيادة مساحة السطح من خلال إضافة زعانف تبريد إلى سطح الجسم، او عن طريق زيادة تدفق الهواء فوق الجسم المراد تبريده باستخدام مروحة. حيث تؤدي زيادة مساحة سطحه الإجمالية المعرضة للهواء إلى زيادة فعالية التبريد. وفي جميع الأحوال يجب أن يكون الهواء أبرد من الجسم أو السطح الذي من المتوقع أن تزيل الحرارة منه. ويرجع ذلك إلى القانون الثاني للديناميكا الحرارية، الذي ينص على أن الحرارة ستنتقل تلقائيًا من الجسم الساخن إلى الجسم البارد. ونلاحظ انه عند التشغيل في بيئة ذات ضغط هواء منخفض مثل الارتفاعات العالية، تنخفض قدرة التبريد مقارنة بمستوى سطح البحر.
(Dmytro Konovalov & Eikevik Trygve, 2023)

وبالتطرق لتبريد الهواء نفسه فيعد التبريد التبخيري (Evaporative cooling) اقدم تقنية مستخدمة لتبريد الهواء.

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is properly cited.

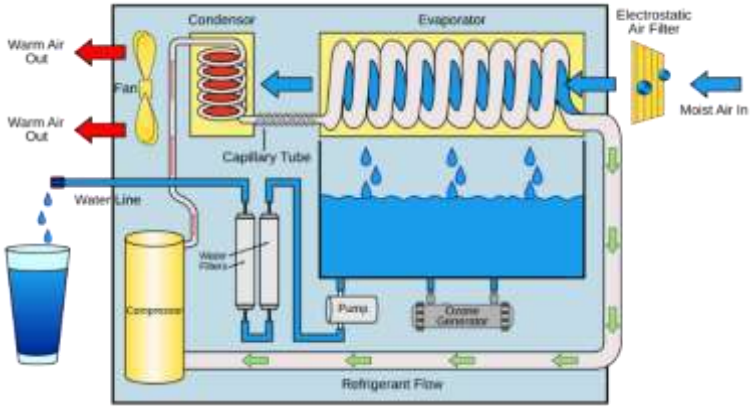
ويتمثل التبريد التبخيري في خفض درجة حرارة الهواء عن طريق تبخر الماء وزيادة معدل رطوبة الهواء حيث ان الماء يحتوي على واحدة من أعلى قيم الحرارة الكامنة للتبخر. وهي ظاهرة طبيعية موجودة بجسم الانسان حيث يفرز العرق عندما ترتفع درجه الحرارة الجسم ويمتص الماء كمية كبيرة من الحرارة حتى يتبخر وهو ما يؤدي إلى تبريد الجسم. ويعتمد معدل التبخر على درجة حرارة الهواء ومعدل الرطوبة، ولهذا السبب يتراكم العرق أكثر في الأيام رطوبة لأنه لا يتبخر بالسرعة الكافية. وبالاعتماد علي مبدأ التبريد التبخيري يتم تصميم المبرد التبخيري والمعروف باسم المكيف الصحراوي. وهو جهاز تختلف الية عمله عن أنظمة تكييف الهواء الأخرى، حيث يمكنه خفض درجة حرارة الهواء بشكل كبير من خلال دفع الهواء ومروره علي شبكه محمله بقطرات الماء مما يحفز عملية الانتقال الحراري بين قطرات الماء وجزيئات الهواء. وفي المناخات شديدة الجفاف، يكون للتبريد بالتبخير ميزه اخري رفع معدل الرطوبة النسبية للهواء الجاف. ولهذا السبب، تستخدم المبردات التبخيرية يمكن لهذا أن يبرد الهواء باستخدام طاقة أقل بكثير من التبريد بطاقة أنظمة تكييف الهواء التي تعمل بضغط البخار أو امتصاص الهواء. ويوضح الشكل (37) التصميم الخارجي للمبرد التبخيري. (R.McDowall, 2006)

شكل (37) يوضح التصميم الخارجي للمبرد التبخيري.
(https://www.a.ubuy.com.kw/ar/product/BH99T47N4-portable-air-conditioner-personal-space-evaporative-air-cooler-mini-ac-dual-fans)

وكمنتج خارجي تعمل مروحة التغشية (Misting fans) على نفخ المروحة رذاذًا خفيفًا من الماء في الهواء. إذا لم يكن الهواء رطبًا جدًا، يتبخر الماء، ويمتص الحرارة من الهواء، مما يسمح لمروحة الرذاذ بالعمل أيضًا كمبرد للهواء. يمكن استخدام مروحة الرذاذ في الهواء الطلق، خاصة في المناخ الجاف. ويمكن استخدامه أيضًا في الداخل. شكل (38) يوضح مراوح التغشية بالحرم المكي.
(Nyuk Hien Wong & Adrian Chong. 2010)

شكل (38) يوضح مراوح التغشية بالحرم المكي.
(https://yrsaeel.com/product/)

وبطريقة عكسية تم استغلال رطوبة الهواء لاستخراج الماء باستخدام مولد المياه الجوي (AWG) (Atmospheric water generator) وهو جهاز وينتج مياه صالحة للشرب من بخار الماء الموجود في الهواء إما عن طريق تبريد والتكثيف الهواء، أو تعريض الهواء للمجففات، أو استخدام الأغشية التي تمرر بخار الماء فقط. وتعد الأنظمة المعتمدة على التبريد والتكثيف هي الأكثر شيوعًا في الاستخدام. حيث يستخدم مولد المياه الجوي ضاغطًا لدفع وتدوير مادة التبريد خلال مكثف ثم يتم تمدد مادة التبريد في ملف المبخر الذي يبرد الهواء المحيط. بينما تقوم المروحة بسحب الهواء المصفى فوق ملف المبخر تنخفض درجة حرارة الهواء ويتكثف بخار الماء الموجود في الهواء ويتساقط علي هيئة قطرات داخل المجمع. ويحافظ نظام التنقية والترشيح على التقليل من المخاطر التي تشكلها الكائنات الحية الدقيقة لضمان نقاء المياه. وقد أظهرت دراسات المحاكاة الحيوية أن خنفساء (Onymacris unguicularis) لديها القدرة الطبيعية على أداء هذه المهمة. ويوضح الشكل (39) دورة التكثيف والتبريد لاستخراج المياه في مولد المياه الجوي. (Greg Peters & Naomi Blackburn & Michael Armedion. 2013)



شكل (39) يوضح دورة التكثيف والتبريد لاستخراج المياه في مولد المياه الجوي.
(https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Atmospheric_Water_Generator_diagram.svg.)

وتم التعاقد على تكنولوجيا استخلاص المياه الجوية من قبل الجيش الأمريكي مع شركة (Terralab) والوكالة الفيدرالية لإدارة الطوارئ (FEMA). من خلال برنامج (DARPA) الذي يهدف إلى تطوير جهاز يمكنه توفير المياه لـ 150 جنديًا. وهناك بعض المعايير البيئية والوظيفية لضمان الاستفادة بأقصى معدل لاستخلاص المياه الجوية. حيث يعتمد معدل إنتاج الماء على درجة الحرارة المحيطة، والرطوبة، وحجم الهواء الذي يمر عبر الملف، وقدرة الآلة على تبريد الملف. وتصبح مجموعات العمل المخصصة أكثر فعالية مع زيادة الرطوبة النسبية ودرجة حرارة الهواء. وكقاعدة عامة لا تعمل أجهزة AWG بكفاءة عندما تنخفض درجة الحرارة المحيطة إلى أقل من 18.3 درجة مئوية أو تنخفض الرطوبة النسبية إلى أقل من 30%. ويوضح الشكل (40) التصميم الشكلي لمولد المياه الجوية. (Patrick Tucker, 2021).

شكل (40) يوضح التصميم الشكلي لمولد المياه الجوية.
(https://sa.made-in-china.com/co_hurrainnanotech/product_A10-New-Generation-of-10L-Portable-Air-Water-Generator-Atmospheric-Water-Generator-Water-Purifier_ysuooiynug.html)

النتائج: Results

	تصنيف التأثيرات الايروديناميكية	تأثير ماجنوس Magnus) (effect	التأثير الأرضي Ground) (effect	تأثير كواندا Coanda) (effect	تأثير الستارة الهوائية (Air curtain)	تأثير ميرديث Meredith) (effect	تأثير المدخنة stack) (effect	التبريد الهوائي (Air cooling)
وفقا لمدى التأثير	تأثير قوي	✓	✓	✓	✓	–	–	–
	تأثير حراري	–	–	–	–	✓	✓	✓
وفقا للتأثير على المعايير التصميمية	تأثير شكلي	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	تأثير اداني	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	تأثير استخدامي	–	✓	–	–	–	✓	✓
وفقا لمجال التطبيق	تصميم المركبات	✓	✓	✓	✓	✓	–	–
	تصميم الأجهزة المنزلية	–	–	✓	–	–	✓	✓
	تصميم الأجهزة والمعدات الرياضية	✓	✓	✓	–	–	–	–

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is properly cited.

وبناء علي ما تم تصنيفه تكمن نتائج البحث في النقاط الآتية:

1- لا تعد الديناميكا الهوائية منهجية او اتجاها تصميميا وانما تعد أحد المعايير التصميمية المتعلقة بالأداء الوظيفي لضمان فاعلية أداء وظيفة المنتج.

2- إلمام المصمم بمعايير الديناميكا الهوائية يدعم الخبرة المعرفية للمصمم الصناعي. ويجعله مدركا للتأثير البيئي على التكوين الشكلي في مرحلة التصميم. كما يساعد الفهم الواعي للديناميكا الهوائية من قبل المصمم الصناعي علي استحداث فئات جديدة من المنتجات لعمل بالية عمل مختلفة كليا واكثر استدامة.

3- تعتبر الديناميكا الحيوية التي أشار لها لويجي كولاني وسيلة مثالية وأسلوب محكم لضمان تحقيق الاندماج للقيم الوظيفية والجمالية والبيئية ولاستخدامية في التصميم الانسيابي لشكل المنتج الصناعي.

التوصيات: Recommendation

1- إجراء دراسات أكثر تعمقاً في حصر المبادئ الايروديناميكية التصميمية لكل قطاع من قطاعات الإنتاج الصناعي.

2- إجراء دراسة تفصيلة بدور الديناميكا الهوائية في ابتكار فئات جديدة من المنتجات تستند إلى آليات غير تقليديه في أداء المهام الوظيفية لها.

المراجع: References

1- زيدون، خلف جبار. (٢٠١٩)، "بعض الأزواجات تدعم بناء شكل المنتج الصناعي، رسالة دكتوراة كلية الفنون التطبيقية جامعة حلوان غير منشور"، ص ٣٨.

2- محمد، وسام أنسي إبراهيم. (2019). "التفاعل بين عناصر التصميم في الاتجاه العضوي كمدخل لتصميم المنتج". مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية، ع15، 666 - 682.

3- Rubio, David. (2023). “Role of Aerodynamics in Industrial Applications”. Journal of Aeronautics & Aerospace Engineering.

4- Durgahee, Ayesha (April 7, 2014), “Luigi Colani: Transport design ‘20 years ahead of the rest’" CNN.

5- Ewing, Jack (2019), "Luigi Colani, 91, Designer of Fanciful and Futuristic Objects, Dies" the New York times.

6- Hooke, Ryan F. (2018), “The mathematical modelling of projectile trajectories under the influence of environmental effects”. University of New South Wales Canberra at the Australian Defence Force Academy, Australia.

7- DeForest, Craig. (1997), “Why are Golf Balls Dimpled?”. math.ucr.edu.

8- Doug McLean, (2013), “Understanding Aerodynamics - Arguing from The Real Physics” p.401.

9- Hughes, Chris (Nov 1930) “Whirling Spools Lift This Plane”. Popular Science. P 26

10-Zipfel, Peter H. (1970), "On Flight Dynamics of Magnus Rotors", Department of the Army, USA.

11-Chanson, Hubert (August 2013). “Applied Hydrodynamics: An Introduction”. CRC Press. pp. 100.

12-Anon. (2012). "PM E-Ship1 Ergebnisse DBU" (PDF). Enercon.de.

13-Le Sueur, Maurice (1934), “Ground Effect on the Takeoff and Landing of Airplanes” NACA TM 771.

14-the U.S. Federal Aviation Administration (FAA), (2007). “Pilot's Encyclopedia of Aeronautical Knowledge”, pp. 3-7, 3-8.

15-Dey, Pradeep Kumar. (2013), “Helicopter aerodynamic” Vijayanjali institute of technology. P 30

16-Yun, Liang & Bliault, Alan. (2012), “High Performance Marine Vessels”. p. 89

17-Hirdaris, Spyros & Guerrier, Mark (November 2009). "Technology Developments in Ground Effect Craft" (PDF). 2nd Annual Ship Tech.

18-Monaco, Ania (August 2011). “Japan Unveils Levitating High-Speed Electric Aero Train”. The Institute IEEE news.

19-McAlpine, Allan. (2022). “Design & Aerodynamic Analysis for the 2022/23 PNW Formula SAE Racecar”. Research Gate.

20-Scott, David (1958), “Cars That Fly”. Modern Mechanix. P 92,95

21-Lubert, Caroline, (2011), “On Some Recent Applications of the Coanda Effect” (PDF), International Journal of Acoustics and Vibration.

22-Lindenbaum, Bernard & Blake, William. (2006). “THE VZ-9 AVROCAR” the Wayback Machine.

23-Frawley, Gerard. (2003) “The International Directory of Civil Aircraft”, Aerospace Publications Pty Ltd, p 155.

24-Igarashi, Hitomi & Akimoto, Takashi & Hatori, Daisuke (2019), “The Effects of an Air Conditioning System using the Coanda Effect on an Indoor Office Environment”, E3s Web of Conferences, CLIMA (2019)

25-Paleczny, Tomasz (2004),"KURZACZ ODKURZACZ”, MlODY TECHNIK

26-Vedant, Joshi & Noronha, Wedyn (2023). “Determination of Optimum Outlet Slit Thickness and Outlet Angle for the Bladeless Fan Using the CFD Approach” Energies.

27-ASHRAE, (2004), “HVAC Systems and Equipment”, Handbook page 17.9

28-Ashika, Rai & Jining, Sun & Savvas, Tassou. (2019). “Numerical investigation into the influence of air curtain discharge angles in refrigerated trucks”. Energy Procedia.

29-Meredith, F.W. (1936). “Cooling of Aircraft Engines with Special Reference to Ethylene Glycol Radiators Enclosed in Ducts”, Aeronautical Research Council R&M.

30-Oxley, Mat (March 2021). “Is Ducati using ground effect for more grip in MotoGP?”. Motor Sport magazine.

31-Piancastelli, Luca & Frizziero, Leonardo & Donnici, Giampiero (2015), "THE MEREDITH RAMJET: AN EFFICIENT WAY TO RECOVER THE HEAT WASTED IN PISTON ENGINE COOLING", ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences,VOL. 10, NO. 12, JULY 2015.

32-Hyder, Chohan Afaq & Jihad, Awad. (2022), "Wind Catchers: An Element of Passive Ventilation in Hot, Arid and Humid Regions, a Comparative Analysis of Their Design and Function". Sustainability.

33-Chen, Ann. (June 2016), "The Science Behind Air Fryers" sciencemeetsfood.

34-Laguerre, Onrawee. (2010). "Heat Transfer and Air Flow in a Domestic Refrigerator." In book: Mathematical Modeling of Food Processing (pp.453-482). Research Gate.

35-Swierczyna, R. & Sobiski, P. & Fisher, D. (2006). "Effects of appliance diversity and position on commercial kitchen hood performance", ASHRAE Transactions.

36-OZAWA, Satoru & HAYASHI, Kazuhiro. (2016). "Design method and performance verification of convection and radiation air-conditioning system with package air conditioner system", Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ).

37-Konovalov, Dmytro & Tolstorebrov, I. & Eikevik, Trygve & Kobalava, Halina & Radchenko, Mykola & Hafner, Armin & Radchenko, Andrii. (2023). "Recent Developments in Cooling Systems and Cooling Management for Electric Motors". Energies.

38-McDowall, R. (2006). "Fundamentals of HVAC Systems", Elsevier, San Diego, page 16.

39-Wong, Nyuk Hien & Chong, Adrian. (2010). "Performance evaluation of misting fans in hot and humid climate. Building and Environment". ResearchGate.

40-Peters, Greg & Blackburn, Naomi & Armedion, Michael (June 2013). "Environmental assessment of air to water machines—triangulation to manage scope uncertainty". The International Journal of Life Cycle Assessment.

41-Benson, Richard. (2019), from https://www.esquire.com/uk/design/a28606626/giorgetto-giugiaro-greatest-car-designer-of-all-time/.

42-Molsheim, (2020), from https://wearemotordriven.com/auto-exotica/ae-inside-lane/bugatti-dimple-airscoop-a-new-invention-for-enhanced-aerodynamics/

43-Anderson, Gary (2012), "Los secretos del auto F1" fast-mag.com. from https://fast-mag.com/los-secretos-del-auto-f1-2012/

44-Choksey, Jessica Shea. (Apr 2022), "What is an Air Curtain on a Car?". from https://www.jdpower.com/cars/shopping-guides/what-is-an-air-curtain-on-a-car

45-Tucker, Patrick (2021). from https://www.defenseone.com/technology/2021/02/military-wants-produce-water-air-heres-science-behind-it/171932/.

46-http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Back_left.JPG

47-https://uk.pinterest.com/pin/562175965966209166/

48-https://www.pinterest.com/pin/317292736224316015/

49-https://www.nzherald.co.nz/sport/golf/golf-dimples-made-game-smooth-sailing/SDMDFIYRMUHFH7IOVZT5XUAIKU./

50-https://wearemotordriven.com/auto-exotica/ae-inside-lane/bugatti-dimple-airscoop-a-new-invention-for-enhanced-aerodynamics/

51-https://www.dmsholland.com/how-does-the-magnus-effect-work.

52-https://www.flitetest.com/articles/how-magnus-effect-can-lift-planes

53-https://oceaninfo.com/exploration/sailing/magnus-effect/

54-https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Fl%C3%BCgel_ohne_Bodeneffekt.png.

55-https://www.slideshare.net/slideshow/helicopter aerodynamics/38140491

56-https://www.alhadath.ps/article/30124/.

57-https://milan-news.ir/

58-https://www.researchgate.net/figure/enturi-Model-in-a-Car_fig1_373161227

59-https://www.flickr.com/photos/dews-pics/169649151/in/photostream/

60-https://es.pinterest.com/pin/563231497135828594/

61-https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Colour_avrocar_59.jpg&oldid=865221261

62-https://archive.ph/20000527162120/http://www.kulikovair.com/Notar.htm

63-https://www.jetoptera.com/products/

64-https://fast-mag.com/los-secretos-del-auto-f1-2012/.

65-https://www.general-hvac.com/mea/products/split/wall/abcy/index.html.

66-https://afdall.com/how-vacuum-cleaner-works/

67-https://www.researchgate.net/figure/Eppler-473-Airfoil-Profile-with-the-depiction-of-outlet-slit-and-height-of-cross-section_fig1_365743208)

68-https://www.airtecnics.com/products/air-curtain-airtrack

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is properly cited.

77-https://www.a.ubuy.com.kw/ar/product/BH99T47N4-portable-air-conditioner-personal-space-evaporative-air-cooler-mini-ac-dual-fans
78-https://yrsaeel.com/product/
79-https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Atmospheric_Water_Generator_diagram.svg.
80-https://sa.made-in-china.com/co_hurrainnanotech/product_A10-New-Generation-of-10L-Portable-Air-Water-Generator-Atmospheric-Water-Generator-Water-Purifier_ysuooiynug.html)
81-Convection Currents - What are Convection Currents? Definition and Examples (vedantu.com)
69-https://www.bmw.fr/fr/topics/univers/technologies-bmw/efficient-dynamics/aerodynamique.html
70-https://www.motorsportmagazine.com/articles/motorcycles/motogp/is-ducati-using-ground-effect
71-https://www.carbodydesign.com/image/66184/
72-https://www.linkedin.com/pulse/what-cross-breeze-paths-buildings-importance-geu4f/
73-https://locknlockvietnam.com/cong-nghe-o-noi-chien-khong-dau-locknlock.html
74-https://www.researchgate.net/figure/Three-types-of-refrigerator-a-static-b-brewed-c-no-frost_fig1_335732474
75-https://www.academia.edu/Fundamentals_of_Kitchen_Ventilation_System_Design_Hood_Selection_and_Sizing
76-https://www.daikin.com.my/ventilation/