التحكم بالطبقة الحدية وتأثيره في الجريان حول بروفيل الجناح الحامل للطائرة

د.م. حمزة مكارم*

الملخص

إن تدرج الضغط يؤثّر بشكل حاسم في تكوين الطبقة الحدية، لاسيّما عند تزايد الضغط يمكن أن يسبب انفصام الطبقة الحدية.

إن انفصام الطبقة الحدية يسبب حدوث جريان معاكس، يتحرك عكس اتجاه الجريان الأصلي، وتتشكل نتيجةً لهذا الجريان أعاصير موضعية تتجمع في منطقة خلف الجسم تدعى بالأثر الذيلي أي زيادة في الضياعات والمقاومة.

ومن ثَمَّ عند دراسة طريقة امتصاص الطبقة الحدية بوصفها طريقة من طرائق التحكم بالطبقة الحدية من أجل تجنب أو على الأقل تأخير حدوث انفصام الطبقة الحدية؛ تكون هذه الدراسة مساعدة للحصول على تصاميم أفضل لشكل الجسم الذي يحقق أقل فواقد ومن ثَمَّ يؤدي إلى تخفيض قوة المقاومة للأجنحة الحاملة بحيث تكون أقل ما يمكن (ومثال على ذلك تقليل استهلاك الوقود)، ولرفع كفاءة قوة الرفع الهيدروديناميكية على بروفيل الجناح الحامل.

الكلمات المفتاحية: الجناح الحامل، الطبقة الحدية، انفصام، امتصاص، ضغط.

* قسم الميكانيك العام – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق.

1. المقدمة (Introduction):

في أوائل القرن الماضي قدم العالم الألماني براندل نظريته الشهيرة عن الطبقة الحدية.[1]

فقد لاحظ العديدون حتى قبل براندل أن سبب التناقض الملاحظ بين النتائج التي يقدمها التحليل النظري في علم الهيدروديناميك والواقع العملي التجريبي لحركة السوائل يعود بصورة رئيسة إلى إهمال ظاهرة الاحتكاك في حركة السوائل، أي إهمال لزوجة السوائل ومع أن معادلات الحركة العائدة للسوائل اللزجة والمعروفة باسم معادلات نافير– ستوكس كانت معروفة مدة طويلة قبل أن يتقدم براندل بنظريته، إلا أن الصعوبات الرياضية الكبيرة التي رافقت حل هذه المعادلات أعاقت كثيراً من الجهود التي بذلت في سبيل التوصل إلى نظريات عامة وشاملة عن حركة السوائل اللزجة.[1]

بَيَّنَ براندل بنظريته كيف يمكن دراسة حركة السوائل الحقيقية (اللزجة) دراسة نظرية مستفيداً من المستوى المتقدم الذي توصل إليه علم الهيدروديناميك النظري بحيث تعتمد نظريته على المبدأ الآتي:

يقسم الجريان حول الأجسام الصلبة إلى قسمين:

الأول: عبارة عن منطقة رقيقة بالقرب من السطح الصلب يعرف باسم الطبقة الحدية (Boundary Layer).

الثاني: منطقة الجريان المثالي بعيداً عن السطوح الصلبة.

ويكون لقوى اللزوجة (قوى الاحتكاك) دور مهم فقط في منطقة الطبقة الحدية، أمَّا في الجريان المثالي البعيد عن السطوح فمن الممكن تطبيق أسس جريان السائل المثالي لعدم أهمية قوى اللزوجة عندها. إذْ إنَّ السائل المثالي هو بالتعريف سائل غير لزج ولذا تستطيع جزئيات السائل الملامسة للسطوح أن تأخذ أية سرعة بغض النظر عن الحالة الحركية لهذه السطوح، فيمكن لجزيئات السائل أن تنزلق على بعضها بعضاً دون مقاومة بسبب عدم وجود إجهادات قص مماسية.

أمَّا السائل الحقيقي فإن تكوينه الفيزيائي لا يسمح له بالانزلاق على السطوح الصلبة، لذا نفترض أن السائل الحقيقي يأخذ الحالة الحركية للسطح الصلب الملامس له، تتحدد بهذه الفرضية شروط خاصة للجريان تعرف باسم الشروط الحدية.

ونظراً إلى أن مبدأ الانقطاع غير مقبول فيزيائياً لذلك فإن السرعة تتدرج من الصفر عند السطح إلى السرعة المنتظمة في الجريان المثالي. والمنطقة التي يحدث فيها هذا التدرج هي التي تدعى بالطبقة الحدية؛ كما أنَّ معدل التدرج في زيادة السرعة لا يكون منتظماً، ومن ثَمَّ فإن مخطط توزع السرعة وفق الاتجاه الناظمي على السطح يأخذ شكلاً غير خطي (ليس دوماً).

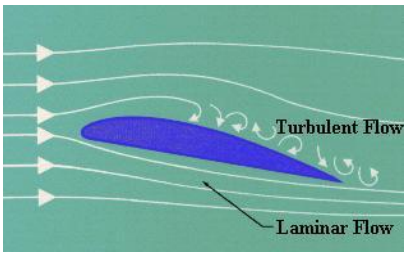
تتولد بسبب انزلاق طبقات السائل على بعضها بعضاً إجهادات قص مماسية ينتج عنها قوى احتكاك معيقة للحركة، وتدعى هذه القوى بمقاومة الاحتكاك أو إعاقته. تكون إجهادات القص أعظمية عند الجدار وتتضاءل تدريجياً حتى تنعدم بالقرب من حدود الطبقة الحدية، وتتطلب دراسة إعاقة الاحتكاك وتفهّمه تفهّماً جيداً لخواص الجريان ضمن الطبقة الحدية، كما أن الطبقة الحدية تنفصم أحياناً عن الجدران الصلبة للأجسام وتولد جرياناً معاكساً يتحرك عكس اتجاه الجريان الأصلي، تتشكل نتيجة للجريان المعاكس أعاصير موضعية تتجمع في منطقة خلف الجسم تدعى بالأثر الذيلي (Wake). وإن طبيعة قوى المقاومة هنا تختلف عن إعاقة الاحتكاك وتدعى بإعاقة الضغط.[6]

إذْ تؤدي ضياعات الاحتكاك في الطبقة الحدية إلى رفع درجة حرارة السطح الملامس للسائل، ويحدث تبادل حراري بين السائل والسطح الصلب الملامس له وتعتمد درجة حرارة السطح ومعدل التبدل الحراري على خواص الجريان في الطبقة الحدية، لذلك فمن أهداف النظرية الحدية أيضاً هي دراسة الاحتكاك الجلدي والتبادل الحراري بين السائل والسطوح الملامسة له، وهذا ما ندعوه بالطبقة الحدية

الحرارية.

إن معرفة التفاصيل المذكورة أعلاه كلّها ضرورية في اختيار أفضل تصميم للأشكال الهندسية للأجسام (كالسفن والطائرات والسيارات وشفرات العنفات وغيرها..) يعطي ضياعات أصغرية وهذا ما تؤمنه نظرية الطبقة الحدية.

وتركزت الجهود المبذولة في المراحل الأولى لتطور نظرية الطبقة الحدية على الجريان الصفائحي للسوائل غير القابلة للانضغاط. ونسمي الطبقة الحدية ذات الجريان الصفائحي بالطبقة الحدية الصفائحية Laminar boundary layer أمّا إذا كان الجريان داخل الطبقة الحدية الصفائحية مضطرباً فتدعى بالطبقة الحدية المضطربة Turbulent boundary layer، وقد ساعدت الإمكانيات المتوافرة نظرياً وتجريبياً عن الجريان الصفائحي للسوائل غير القابلة للانضغاط، على دعم نظرية الطبقة الحدية الصفائحية ونستطيع أن نقول اليوم: إنَّ أغلب الموضوعات المتعلقة بالجريان الصفائحي عامة وبالطبقة الحدية الصفائحية خاصة، أصبحت واضحة وحلها في متناول اليد.[3]

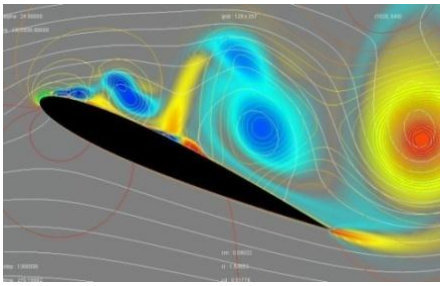


الشكل (1) الجريان الصفائحي والمضطرب حول الجناح الحامل

ومع تطور علم ميكانيك السوائل، أخذت الجهود تبذل لتطوير نظرية الطبقة الحدية لتشمل الجريان المضطرب. فمع أن رينولدز تقدم ببحوثه عن إجهادات القص المضطربة منذ عام 1880م، إلا أن التحليل النظري التام للجريان المضطرب في الطبقة الحدية مازال حتى الآن محاطاً بغموض كبير، وتوجد اليوم نظريات للجريان المضطرب أثبتت فعاليتها وفائدتها مثل نظرية طول المزج لـ براندل.

2. دراسة انفصام الطبقة الحدية (Boundary Layer Separation):

إن الطبقة الحدية تنفصم أحياناً عن الجدران الصلبة للأجسام؛ ممَّا يسبّب توزعاً غير منتظم للضغط أمام الجسم وخلفه وتولد جرياناً معاكساً يتحرك عكس اتجاه الجريان الأصلي، كما هو موضّح في الشكل (2).



الشكل (2) تولد الجريان المعاكس و تشكل الأثر الذيلي خلف الجناح الحامل

تتشكل نتيجة للجريان المعاكس أعاصير موضعية تتجمع في منطقة خلف الجسم، ووفقاً للشكل الهندسي للجريان يمكن تمييز الحالات الآتية:

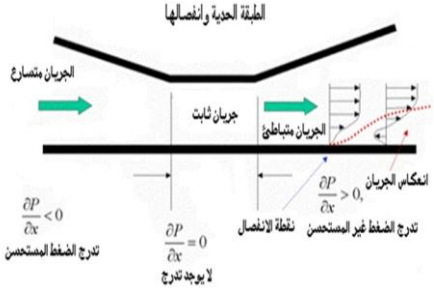
(1) يهبط ضغط التيار مع اتجاه الحركة، ويكون $\frac{\partial p}{\partial x} < 0$ أصغر من الصفر.

ويستطيع الضغط أن يعوض عن القدرة المفقودة بالاحتكاك وبذلك يبقى للمائع قدرة حركية تساعده على الاستمرار في الجريان.

(2) يبقى الضغط ثابتاً $\frac{\partial p}{\partial x} = 0$ وتشاهد هذه الحالة في الجريان على سطح صفيحة مستوية.

(3) يزداد الضغط مع اتجاه التيار $\frac{\partial p}{\partial x} > 0$ أي تدرج الضغط موجب، ومن ثَمَّ يعمل الضغط جنباً لجنب مع قوى الاحتكاك على استهلاك القدرة الحركية للمائع؛ ممَّا يؤدي إلى تباطؤ الجريان وزيادة سماكة الطبقة الحدية وتستمر الطاقة الحركية للجريان بالتناقص حتى تنعدم السرعة. وقد يحدث أن تعكس جسيمات الهواء باتجاه حركتها لتزيد من كمية الحركة المفقودة وتنفصم الطبقة الحدية، كما في

الشكل (3):



الشكل (3) انفصام الطبقة الحدية وحالات تدرج الضغط

وتدعى النقطة التي يحدث عندها انفصام الطبقة الحدية عن السطح بنقطة الانفصام، ويدعى السطح الفاصل بين الطبقة الحدية والجريان المعاكس حيث تنعدم السرعة بسطح الانزلاق.[3]

ثم لا يلبث السائل الموجود بجوار السطح أن يكتسب حركة إعصارية موضعية مشكلاً منطقة اضطراب خلف الجسم تدعى بالأثر الذيلي للجريان.

تحتاج الأعاصير في الأثر الذيلي إلى قدرة إضافية لاستمرار تولدها وحركتها، وتتبدد هذه القدرة التي تؤخذ من الجريان المثالي، أخيراً على شكل حرارة. فتشكل الأعاصير إذاً في منطقة الأثر الذيلي يعني ضياعات إضافية وهو أمر غير مرغوب فيه.

ومن أهداف التصميم الجيد أن يكون الأثر الذيلي ضعيفاً والقدرة المفقودة بواسطته أصغرية.

إذاً ظاهرة الانفصام لا تحدث إلا إذا كان تدرج الضغط موجباً. فالطبقة الحدية على سطح صفيحة مستوية لا يمكن أن تنفصم، أمَّا في السائل المثالي فإن ظاهرة الانفصام غير ممكنة إطلاقاً نظراً إلى عدم وجود طبقة حدية في جريان السائل المثالي، وهذه الظاهرة ملاحظة في الطبقة الحدية الصفائحية والمضطربة وتحدث للأسباب نفسها في كلتيهما.

وبالنسبة إلى الجريان حول بروفيل الجناح الحامل تتجول نقطة الانتقال الصفائحي– المضطرب The transition ونقطة الانفصام في حال بقاء عدد رينولدز ثابتاً مع تزايد زاوية الورود Angle of attack على طرف السحب إلى الأمام باتجاه الحافة الأمامية وعلى طرف الضغط إلى الخلف باتجاه الحافة الخلفية، أمَّا في حال بقاء زاوية الورود ثابتة مع تزايد قيمة عدد رينولدز فتتجول نقطة الانتقال والانفصام إلى الأمام على طرفي البروفيل.[2]

3. خطوات البحث (Research Steps):

1- اختيار الجناح المطلوب اختباره ورسمه وتصنيعه.
2- وضع الشروط الابتدائية والحدية للتجربة.
3- اختبار الجناح (إيجاد قيم الضغوط الكلية وتدرج الضغط) في عدد من النقاط على السطح العلوي لبروفيل الجناح الحامل المراد اختباره.
4- تطبيق الطريقة المناسبة من أجل تأخير انفصام الطبقة الحدية على السطح العلوي للبروفيل.
5- البرهان على صحة الطريقة المختارة لتأخير الانفصام عن طريق إيجاد قيم الضغوط الكلية وتدرج الضغط من جديد ومقارنة النتائج.

1.3. مرحلة اختيار الجناح ورسمه وتصنيعه

(Profile Selection; Drawing; Manufacturing)

من برنامج Design Foil R6.30 وهو برنامج يُعنى بتصميم البروفيلات ويدرس كلاً من عوامل الرفع والجر والعزم، ومن ميزاته الرئيسة وجود موسوعة كبيرة لأشهر البروفيلات العالمية.

ويتجلى هدفنا في هذا البحث بتبيان مدى فعالية وتأثير طريقة التحكم بالطبقة الحدية في الجريان حول بروفيل الجناح الحامل، ولن يهمنا نوع البروفيل في تبيان الغرض من التجربة، من ثَمَّ سنقوم باختيار أحد البروفيلات من عائلة NASA ونجري التجربة والقياسات عليه وليكن الموديل 83–5412. [5]

من برنامج Design Foil ذاته نقوم بأخذ إحداثيات (X,Y) للبروفيل المطلوب رسمه، وبعد ذلك نقوم برسم بروفيل

جناح NASA 5412–83 المدروس باستخدام برنامج (mechanical desktop 2006) الشكل (4).

الشكل (4) البروفيل المطلوب دراسته بعد الرسم

وباستخدام آلة CNC ذات أربعة محاور نقوم بتصنيع البروفيل المطلوب، وذلك بعد استخدام برنامج Surf cam إذْ تم عن طريق هذا البرنامج إيجاد خرج التعليمات اللازم لتشغيل آلة الـCNC من أجل الحصول على بروفيل الجناح المطلوب، وبعد التشغيل على الآلة حصلنا على البروفيل الموضّح بالشكل (5):

الشكل (5) البروفيل المطلوب دراسته بعد التصنيع

2.3. مرحلة التجارب على النفق الهوائي (The Experiment In The Wind Tunnel)

لوضع الشروط الابتدائية والحدية نأخذ بالحسبان بارامترات الجو المحيط في المخبر وباقي البارامترات المفروضة فنجد:

$$\mathrm{Re} = 100000$$

$$\rho_\infty = \rho = 1.1\,Kg/m^3$$

$$L = 9.2cm = 0.092m$$

$$\mu = 1.78937202 \cdot 10^{-5}\,N.Sec/m^2$$

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho.V.L}{\mu} \Rightarrow \mathrm{Re}.\mu = \rho.V.L \Rightarrow V = \frac{\mathrm{Re}.\mu}{\rho.L}$$

$$V = \frac{100000 \times 1.78937202 \times 10^{-5}}{1.11 \times 0.092} = 17.6815\ m/\sec$$

$$V = 63.65\ Km/h$$

إذْ: Re: عدد رينولدز. ρ_∞: كثافة الهواء. L: طول وتر البروفيل المدروس. μ: اللزوجة التحريكية للهواء. V: سرعة الجريان الرئيس.[6]

إذاً عند درجة الحرارة الاعتيادية والارتفاع في المخبر نجد أنَّ الضغط الجوي وكثافة الهواء المحيط في المخبر وسرعة الجريان ضمن النفق الهوائي هي:

$$P_\infty = 1bar = 10^{+5}\,N/m^2\,(Pascal)$$

$$\rho_\infty = 1.1Kg/m^3$$

$$V_\infty = 17.6815m/\sec$$

نجعل بروفيل الجناح بوضعية زاوية الانهيار $AOA = 15^\circ$ المأخوذة من البرنامج Design Foil ونثبته ضمن النفق الهوائي في مركز الاختبارات.

ثم نقوم بتقسيم السطح العلوي لبروفيل الجناح الحامل إلى عدد من النقاط، وباستخدام أجهزة قياس الضغط (مسابر الضغط) الالكترونية الموجودة في المختبر نوجد قيم الضغوط الكلية عند هذه النقاط، وبعدها نقوم بحساب تدرج الضغط الكلي عند كل نقطة من النقاط عن طريق العلاقة:

$$\frac{dP}{dX} = \frac{\Delta P}{\Delta X} = \frac{P_2 - P_1}{X_2 - X_1}$$

إذْ:

P_2 الضغط المقيس للنقطة المدروسة التالية.

P_1 الضغط المقيس للنقطة المدروسة.

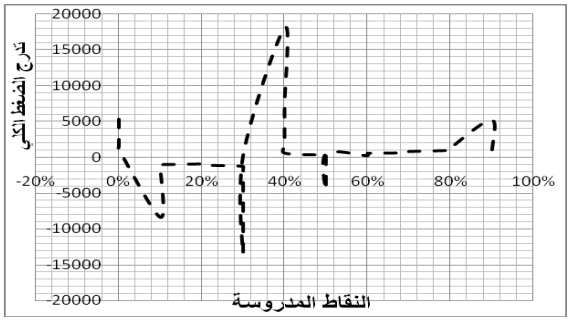
X_2 إحداثيا النقطة المدروسة التالية عند الضغط P_2

X_1 إحداثيا النقطة المدروسة عند الضغط P_1

ومن ثَمَّ نجد النتائج الآتية:

الجدول (1) قيم الضغط الكلي وتدرج الضغط الكلي في نقاط السطح العلوي لبروفيل الجناح الحامل

المجال المقيس المدروس	قيمة الضغط الكلي عند النقطة (Pa)	تدرج الضغط الكلي
0% إلى 10%	99832.25	5338.09
0% إلى 10%	99853.05	2430.03
0% إلى 10%	99873.04	1536.88
0% إلى 10%	99892.26	1106.28
10% إلى 20%	99910.72	-8361.77
10% إلى 20%	99737.44	-1274.17
10% إلى 20%	99706.13	-1208.23
10% إلى 20%	99672.06	-1014.43
20% إلى 30%	99640.04	-909.31
20% إلى 30%	99608.54	-902.89
20% إلى 30%	99574.77	-954.75
20% إلى 30%	99536.75	-1065.19
30% إلى 40%	99492.14	-1249.61
30% إلى 40%	99437.71	-1534.41
30% إلى 40%	99368.91	-13484.64
30% إلى 40%	98761.39	330.61
40% إلى 50%	98776.37	18115.17
40% إلى 50%	99599.48	7292.41
40% إلى 50%	99928.86	2002.89
40% إلى 50%	100018.03	602.86
50% إلى 60%	100044.26	352.20
50% إلى 60%	100059.10	445.38
50% إلى 60%	100077.11	-4562.57
50% إلى 60%	99901.86	518.68
60% إلى 70%	99920.58	234.03
60% إلى 70%	99928.42	553.23
60% إلى 70%	99945.38	588.30
70% إلى 80%	99961.61	638.17
70% إلى 80%	99977.13	711.33
70% إلى 80%	99991.98	819.80
80% إلى 90%	100006.15	991.82
80% إلى 90%	100019.61	1284.59
90% إلى 100%	100032.15	5240.96
90% إلى 100%	100062.99	330.62
90% إلى 100%	100063.64	_-



الشكل (6) مخطط تدرج الضغط على السطح العلوي للبروفيل

وبعد الحصول على تدرج الضغط في نقاط بروفيل الجناح الحامل المدروسة (السطح العلوي) نلاحظ وجود تدرج ضغط موجب عالٍ وهو القيمة: 18115.17 .

وكما نعلم أنَّ ظاهرة الانفصام لا تحدث إلا إذا كان تدرج الضغط موجباً، وبازدياد التدرج الموجب للضغط شدةً تتوافر الشروط الجيدة للانفصال، وعند الوصول إلى قيمة معينة لزاوية الهجوم تنفصل الطبقة الحدية عن السطح العلوي للجناح ويتشكل فوق الجناح أثر ذيلي عالي الاضطراب ويفقد الجناح قوة الرفع المتوافرة من الضغط السالب.[1]

وكان لابدَّ هنا من البحث عن وسائل إضافية غير الشكل الهندسي لمقدمة الجناح ومؤخرته تعرف بطرائق التحكم بالطبقة الحدية تجنب حدوث انفصام الطبقة الحدية، أو على الأقل إضعاف تأثير ظاهرة الانفصام إلى الحد الأدنى الممكن، ومن ثَمَّ تقليل الفواقد بالنسبة إلى الجريان أو زيادة قوة الرفع الآيروديناميكية وتخفيض المقاومة للأجنحة الحاملة.

3.3. تطبيق طريقة امتصاص الطبقة الحدية على البروفيل المدروس

Applied the Suction Method on Profile

كان الغرض الأساسي من امتصاص الطبقة الحدية هو منع انفصالها، ومن ثَمَّ تخفيض مقاومة الضغط عن طرق منع تشكّل الأثر الذيلي المضطرب والعريض فوق الجناح وخلفه.

إنّ عملية الامتصاص تعطي فائدة أخرى إذ إنَّها تؤخّر المرحلة الانتقالية للطبقة الحدية، ومن ثَمَّ تحوّلها إلى مضطربة.

فتبقى الطبقة الحدية صفائحية مسافة كبيرة على الجناح وقد لا تتحول إلى مضطربة إلا في المناطق المتأخرة جداً. وإذا تذكرنا أنّ إجهادات القص في الطبقة الحدية الصفائحية هي أقل منها في المضطربة وجدنا أن امتصاص الطبقة الحدية يخفّض من جر الاحتكاك أيضاً فضلاً عن الفائدة التي نحصل عليها من تخفيض مقاومة الضغط.

من الطبيعي أنّ عملية امتصاص الطبقة الحدية تحتاج هي الأخرى إلى تجهيزات خاصة كالمضخات الماصة أو الخزانات المفرغة.

ويبقى موضوع المقارنة بين المميزات التي نتوصّل لها من امتصاص الطبقة الحدية والثمن الذي ندفعه لقاء ذلك مجال بحث. وتشير التجارب السابقة إلى أنّ المقارنة هي دوماً لصالح عملية الامتصاص.[2]

حققت طريقة امتصاص (Suction) الطبقة الحدية نجاحاً متميزاً ومشجعاً جداً في التطبيقات العملية سواء في هندسة الطيران أو آلات الجريان.

إن فعالية هذه الطريقة فيما يتعلق بمنع حدوث الانفصام ترتكز على أساس أن امتصاص جزيئات الطبقة الحدية المتباطئة في منطقة تزايد ضغط وإبعادها عبر شق امتصاص (Suction Slit) مناسب، وقبل أن يؤدي تجمع هذه الجزيئات إلى حدوث انفصام الجريان، سيساعد جزيئات الطبقة الحدية المتشكلة مجدداً بعد شق الامتصاص في التغلب على تزايد ضغط معين.

وتتجلى فعالية طريقة الامتصاص بالنسبة إلى منع الانتقال الصفائحي– المضطرب أو تأخيره بإزاحة نقطة الانتقال باتجاه الحافة الخلفية للجسم، ويتأتى ذلك من جهة، بسبب أن سماكة الطبقة الحدية تقل نتيجة لامتصاص جزيئات منها، ويقل من ثَمَّ جنوحها أو استعدادها للتحول إلى مضطربة.

بالمقارنة بتلك من دون امتصاص، تكون ذات أشكال تمانع بشدة التحول المضطرب حتى في حالة سماكة واحدة للطبقة الحدية.

ثبت بما لا يقبل الشك أن امتصاص الطبقة الحدية من شق على طرف السحب يسمح بتكبير زاوية الورود بشكل ملحوظ، ومن ثَمَّ في الحصول على زيادة مرموقة لقوة الرفع الآيروديناميكية بسبب أن فعل الامتصاص يمكن بشدة منع حدوث الانفصام بتاتاً.[2]

إن فعالية طريقة امتصاص الطبقة الحدية لزيادة قوة الرفع تتأثر بعوامل عديدة أهمها:

1– مكان شق الامتصاص وشكله: إذْ تبيّن أنه الموضع الأفضلي لشق الامتصاص من أجل تحقيق أفضل النتائج يقع إمَّا في نقطة الانفصام المتوقعة من دون امتصاص أو على الحافة الخلفية للجناح، كما يفضل أن يكون عرض الشق أصغر ما يمكن.

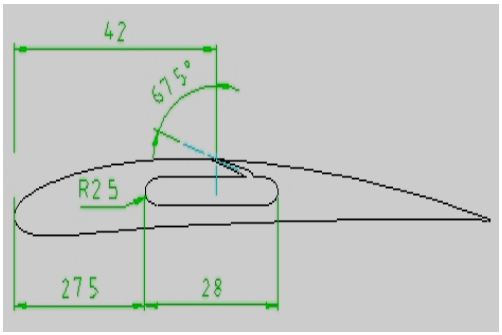
وفي بعض الحالات ينصح باستخدام شقي امتصاص بدلاً من شق واحد.

2– شكل بروفيل الجناح: إذْ تؤدي سماكة البروفيل ونصف قطر أنفه دوراً حاسماً. وقد تبيّن وجود سماكة نسبية d/L أفضلية تتحقق عندها أعلى زيادة لقوة الرفع عند عدد رينولدز ثابت وطاقة امتصاص معينة.[1]

ومن خلال النتائج التجريبية السابقة المبيّنة في الجدول السابق يتبيَّن لدينا أن الموضع الأفضلي لشق الامتصاص يقع في نقطة الانفصام المتوقعة من دون امتصاص، أي (المنطقة التي يكون فيها ازدياد التدرج الموجب للضغط أكثر شدةً) وهنا نجده في الربع الأول من البعد 40% تقريباً من طول البروفيل على السطح العلوي لبروفيل

الجناح.

وبالرجوع إلى مصادر متعددة [4] نجد أن هناك مواصفات هندسية خاصة لشق الامتصاص تتناسب مع أبعاد البروفيل المدروس (طول الوتر) مبيّنة بالشكل (7):



الشكل (7) أبعاد شق الامتصاص المطلوب [4]

ونعود مرة أخرى إلى آلة CNC لإحداث شق الامتصاص المطلوب وباستخدام برنامج Surf cam أيضاً نحصل على بروفيل الجناح مع شق الامتصاص المطلوب كما هو مبيَّن بالشكل (8):

الشكل (8) البروفيل المطلوب دراسته بعد التصنيع

وبعد القيام بإحداث شق الامتصاص في بروفيل الجناح الحامل نعيد إجراء التجربة كاملةً التي قمنا بها على البروفيل نفسه من دون شق امتصاص.

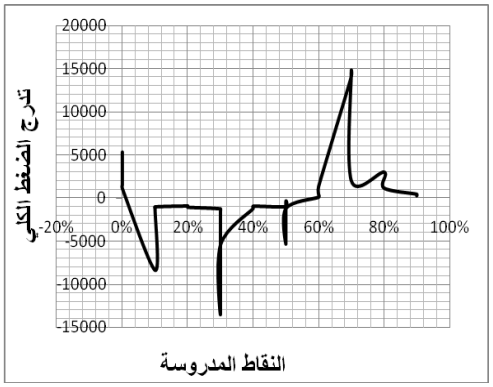
إذْ نعيد وضع البروفيل بزاوية $AOA = 15^{\circ}$ ضمن حجرة الاختبار في النفق الهوائي، ونعرّض البروفيل إلى سرعة جريان هواء بقيمة $V_{\infty} = 17.6815 m/\sec$ ونقوم بقياس الضغوط في نقاط موزعة ضمن التقسيمات السابقة نفسها للبروفيل من دون شق امتصاص؛ وذلك على السطح العلوي للبروفيل.

وباستخدام مسابر قياس الضغط وإجراء الحساب نجد النتائج الآتية:

الجدول (2) قيم الضغط الكلي وتدرج الضغط الكلي في نقاط السطح العلوي لبروفيل الجناح الحامل بوجود شق امتصاص على السطح العلوي للبروفيل:

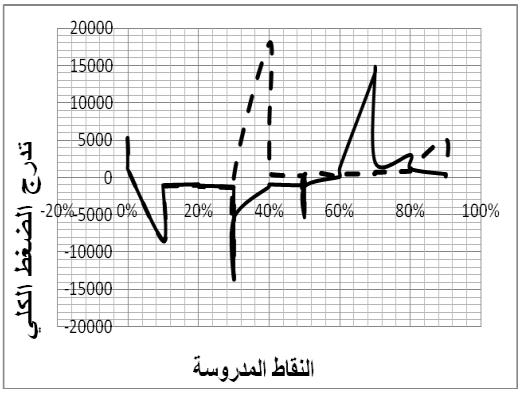
المجال المقيس المدروس	قيمة الضغط الكلي عند النقطة (Pa)	تدرج الضغط الكلي
%0 إلى %10	99832.25	5338.09
%0 إلى %10	99853.05	2430.03
%0 إلى %10	99873.04	1536.88
%0 إلى %10	99892.26	1106.28
%10 إلى %20	99910.72	-8361.77
%10 إلى %20	99737.44	-1274.17
%10 إلى %20	99706.13	-1208.23
%10 إلى %20	99672.06	-1014.43
%20 إلى %30	99640.04	-909.31
%20 إلى %30	99608.54	-902.89
%20 إلى %30	99574.77	-954.75
%20 إلى %30	99536.75	-1065.19
%30 إلى %40	99492.14	-1249.61
%30 إلى %40	99437.71	-1534.41
%30 إلى %40	99368.91	-13484.64
%30 إلى %40	98761.39	-5447.00
%40 إلى %50	98514.51	-1209.32
%40 إلى %50	98459.56	-1209.00
%40 إلى %50	98404.96	-1105.10
%40 إلى %50	98355.76	-933.45
%50 إلى %60	98315.14	-1001.23
%50 إلى %60	98272.95	-388.77
%50 إلى %60	98257.24	-5327.06
%50 إلى %60	98052.62	-1207.14
%60 إلى %70	98009.05	107.13

433.79	98012.64	%60 إلى %70
1336.34	98025.94	%60 إلى %70
14085.79	98062.81	%70 إلى %80
14772.97	98405.37	%70 إلى %80
2007.96	98713.77	%70 إلى %80
3011.79	98748.48	%80 إلى %90
1173.79	98789.35	%80 إلى %90
450.52	98800.81	%90 إلى %100
267.12	98803.46	%90 إلى %100
–_	98803.99	%90 إلى %100



الشكل (9) مخطط تدرج الضغط على السطح العلوي للبروفيل بوجود شق الامتصاص على امتداد النقاط المدروسة

وبالعودة إلى جدول تدرج الضغط على السطح العلوي لبروفيل الجناح الحامل مع شق الامتصاص وبمقارنة النتائج بجدول تدرج الضغط من دون هذا الشق نجد النتائج الآتية:



الشكل (10) مخطط مقارنة بين تدرج الضغط على السطح العلوي للبروفيل في حالة من دون شق امتصاص وفي حالة وجود هذا الشق على امتداد النقاط المدروسة

4. الاستنتاجات (Conclusions):

1– بالمقارنة بين جدولي النتائج (1) و(2) وبشكل خاص بين قيم تدرج الضغط الكلي على امتداد نقاط السطح العلوي لبروفيل الجناح الحامل المدروس نلاحظ ما يأتي:

– بالنسبة إلى البروفيل من دون شق الامتصاص:

18115.17	98776.37	%40 إلى %50

– بالنسبة إلى البروفيل مع شق امتصاص:

14085.79	98062.81	%70 إلى %80

وكما نعلم وذكرنا سابقاً إن وجود تدرج الضغط عالي القيمة في نقطة معينة بالمقارنة مع تدرج الضغوط في باقي النقاط يعطي هذا الأمر توقعاً لمجال تموضع نقطة انفصام الطبقة الحدية، ففي الحالة الأولى وبعدم وجود شق امتصاص وجدنا أن تدرج الضغط عالي القيمة حدث في مجال النقط عند 40% إلى 50% من مقدمة السطح العلوي للبروفيل المدروس.

وبعد استخدام طريقة الامتصاص (إحدى طرائق تأخير انفصام الطبقة الحدية) وجدنا بعد القياس والحساب حصول تدرج ضغط عالٍ في مجال النقط عند 70% إلى 80% من مقدمة السطح العلوي للبروفيل، وهذا ما يوضّحه الشكل (10) ومن ثَمَّ نلاحظ انتقال نقطة الانفصام من مجال إلى مجال أبعد عن الحافة الأمامية للسطح العلوي للبروفيل. وهكذا نجد أنَّ هذه الطريقة أدت إلى تأخير الانفصام الذي بدوره يعطي نتائج إيجابية تتجلى في زيادة قوة الرفع الهيدروديناميكية وانخفاض في قوة المقاومة الإجمالية.

الرموز والمصطلحات:

تدرج الضغط باتجاه التيار $\frac{\partial p}{\partial x}$.

عدد رينولدز Re.

كثافة الهواء ρ_∞.

طول وتر البروفيل المدروس L.

اللزوجة التحريكية للهواء μ.

سرعة الجريان الرئيس V.

الضغط المقيس للنقطة المدروسة P_1.

إحداثيا النقطة المدروسة X_1 التي الضغط عندها هو P_1.

السماكة النسبية لبروفيل الجناح الحامل d/L.

زاوية الهجوم (الورود) AOA.

5. المراجع (References)*

[1] انطانيوس عقل: ميكانيك السوائل التكنيكي (الجزء الثاني)، منشورات جامعة دمشق– عام 1983.

[2] دريد عزوز: ميكانيك الموائع (الجزء الثاني)، منشورات جامعة حلب– عام 1985.

[3] طريف الأشتر: الآيروديناميك (الجزء الثاني)، هندسة الطيران (جامعة حلب)، الإصدار: 2004/2/22.

[4] Design of Airplane: by Darrol Stinton England 1999.

[5] Fluid Dynamics: Theoretical And Computational Approaches: A.Warsi.U.Z- London 1999.

[6] P. W. Carpenter "Aerodynamics for Engineering Students", Fifth Edition.

* تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2013/12/24