همایش پژوهش های نوین در علوم و فناوری
Conference on Recent Research in Science and Technology

مطالعه تجربی اثر المان‌های زبری گسسته بر مرحله گذار لایه مرزی

محسن جهانمیری[1]، افسون حاتمی[2]

[1] دانشیار، مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی شیراز
Jahanmiri@sutech.ac.ir

[2] فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی شیراز
Afsoon_hatami@yahoo.com

Archive of SID

چکیده

تاکنون مطالعات زیادی برای تعویق مرحله گذار جریان لایه مرزی، انجام شده است. در این تحقیق به بررسی اثر المان‌های زبری گسسته بر تعویق مرحله گذار لایه مرزی روی صفحه تخت، به صورت تجربی پرداخته شده است. اگر ارتفاع المان‌های زبری گسسته، کمتر از نصف ضخامت لایه مرزی در محل نصب آن‌ها باشد؛ مرحله گذار جریان از رژیم آرام به رژیم آشفته به تعویق می‌افتد و جریان آرام می‌ماند. پروفیل سرعت جریان لایه مرزی، به خوبی نشان دهنده رژیم جریان لایه مرزی و تغییرات آن است. هر چقدر در یک نقطه روی صفحه تخت، شیب نمودار پروفیل سرعت بی بعد (نسبت تغییرات سرعت به تغییرات فاصله از سطح) کم‌تر شود؛ ضخامت لایه مرزی در محل مورد نظر کمتر و جریان آرام‌تر شده است. در مقاله حاضر با گذاشتن المان‌های زبری نیم کروی شکل روی صفحه تخت، تاثیر آن‌ها، بر تعویق مرحله گذار جریان لایه مرزی بررسی شده است. آزمایشات در سرعت ۴/۵ متر بر ثانیه و در دو فاصله ۴۵/۸ و ۵۸/۵ سانتی‌متری از لبه حمله صفحه تخت در تونل باد دانشگاه صنعتی شیراز انجام شد. اندازه‌گیری‌ها یک بار بدون وجود المان‌ها و بار دیگر با گذاشتن المان‌ها روی صفحه تخت، صورت گرفت. این المان‌ها در یک ردیف روی صفحه قرار گرفتند. براساس نتایج به دست آمده، با قرارگیری المان‌ها، شیب پروفیل سرعت بی بعد کم‌تر می‌شود که نشان‌دهنده آرام‌تر شدن جریان و تعویق مرحله گذار است.

کلمات کلیدی: المان‌های زبری گسسته - مرحله گذار لایه مرزی- پروفیل سرعت

۱. مقدمه

برای اولین بار در آغاز قرن بیستم، پرانتل نشان داد که جریانی که از روی جسم می‌گذرد؛ به دو ناحیه تقسیم می‌شود: ۱.لایه خیلی باریکی در نزدیکی جسم که به دلیل بزرگ بودن گرادیان سرعت در آن ناحیه، نیروهای ناشی از لزجت بسیار موثرند. به این لایه باریک، لایه مرزی گفته می‌شود. ۲. ناحیه وسیع خارج از لایه باریک که اثرات نیروهای ناشی از لزجت در مقایسه با سایر نیروها، قابل چشم‌پوشی است. در داخل لایه مرزی سرعت از صفر روی سطح جسم تا سرعت جریان آزاد تغییر می‌کند. رژیم جریان لایه مرزی به سه دسته رژیم آرام، مرحله انتقالی و رژیم آشفته تقسیم می‌شود. رژیم جریان آرام، قابل پیش‌بینی و لایه‌ای است که هیچ حرکت عمود بر جهت جریانی درآن دیده نمی‌شود. اختلاط جریان و اصطکاک پوسته‌ای آن، کم است. این جریان آرام ناپایدار است و به جریان آشفته تبدیل می‌شود. در رژیم آشفته اختلاط جریان بیشتر است و بنابراین اصطکاک پوسته‌ای

www.SID.ir

بیشتری تولید می‌شود .(schilichting, 1995) با شروع جریان روی سطح جسم در ابتدا، لایه مرزی آرام است. با پیش‌روی جریان روی سطح، طی یک مرحله انتقالی، رژیم جریان لایه مرزی، از آرام به آشفته تغییر می‌یابد. به این مرحله انتقالی جریان از آرام به آشفته، مرحله گذار گفته می‌شود. مرحله گذار جریان لایه مرزی از رژیم آرام به آشفته، یکی از بزرگترین مسائل حل نشده در مکانیک سیالات است. جریان آشفته به دلیل داشتن اصطکاک پوسته‌ای زیاد در مواردی نظیر جریان روی سطح بال‌ها مضر است. ضریب اصطکاک سطحی برای لایه مرزی آشفته، دو تا پنج برابر لایه مرزی آرام است (Gross, 1963). آرام نگه‌داشتن جریان روی سطح بال‌ها و به تعویق انداختن مرحله گذار، منجر به کاهش حدودا نه درصدی مصرف سوخت (A. Drake, 2013) و افزایش راندمان هواپیما می‌شود. استفاده از المان‌های زبری گسسته، روشی موثر برای به تعویق انداختن مرحله گذار و آرام ساختن جریان لایه مرزی است. اگر فاصله بین المان‌ها، سه برابر قطر المان باشد؛ این المان‌ها می‌توانند به عنوان المان‌های گسسته و مجزا عمل کنند (K. J. A. Westin, 1994). برای این که تعویق گذار اتفاق بیافتد؛ باید ارتفاع المان‌ها کمتر از نصف ضخامت لایه مرزی در محل نصب باشد (G. Taylor, 1939). ارتفاع بالاتر از نصف ضخامت لایه مرزی، منجر به تسریع گذار می‌شود. برای دهه‌ها باور رایج این بود که زبری‌های سطح، تنها گذار را تسریع می‌کنند. تا این‌که برای اولین بار "فرانسون" و همکارانش به صورت آزمایشگاهی، با نصب المان‌های زبری استوانه‌ای در راستای عرضی نشان دادند؛ تحت شرایط خاص با قرار دادن المان‌های زبری استوانه‌ای با ارتفاع معین روی سطح، در جهت عمود بر جریان، گذار به تعویق می‌افتد و جریان آرام باقی می‌ماند (J. H. Fransson, 2006).آزمایش "فرانسون" اولین موردی بود که تطابق خوبی با پیش‌بینی صورت‌گرفته در کارهای عددی قبلی (Brandt, 2004)، داشت و روش جدید و موثری برای کنترل مرحله گذار و آرام نگه داشتن لایه مرزی، ارائه شد (J. H. Fransson, 2006). "فرانسون"، آزمایشاتش را در تونل باد کم‌سرعت (مادون صوت) انجام داد. بعدها نتایج مربوط به یک کارعددی، صحت کار او را تایید کرد (P. Schlatter, 2010).در این مقاله، برای اولین بار، اثر المان‌های زبری گسسته‌ای که به شکل نیم‌کره هستند؛ بر آرام ساختن جریان لایه مرزی بررسی شد. المان‌های نیم‌کروی در یک ردیف، روی صفحه تخت چیده شدند. داده‌برداری‌ها با استفاده از دستگاه جریان‌سنج سیم داغ انجام گرفت.

۲. شرح آزمایش

در تحقیق حاضر مقادیر سرعت لحظه‌ای و نوسانات آن در راستای جریان، هم در حالت بدون المان و هم با نصب المان‌ها روی صفحه تخت اندازه‌گیری شده است. پروفیل‌های سرعت بی‌بعد و سپس رسم شده‌اند و با مقایسه آن‌ها، تاثیر این المان‌ها بر جریان لایه مرزی بررسی شده است.

۲-۱. روش کار

آزمایشات در تونل باد مادون صوت دانشگاه صنعتی شیراز انجام شد. این تونل مدار باز و از نوع دمنده است. ابعاد تونل ۲/۴*۳*۸ (متر) می‌باشد. از قابلیت‌های این تونل سطح آشفتگی کم است. شکل ۱، نمایی از موتور، فن و دیفیوزر تونل باد دانشگاه صنعتی شیراز را نشان می‌دهد.

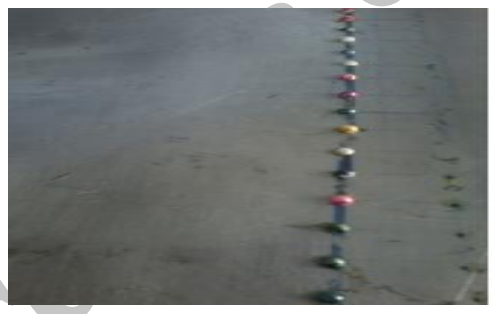
شکل ۱: موتور، فن و دیفیوزر تونل باد

www.SID.ir

محفظه آزمایش تونل، مکعب مستطیلی شکل و به ابعاد ۰/۶*۰/۶*۳ (متر) است. دیواره محفظه آزمایش از جنس شیشه و حداکثر سرعت تونل در محفظه ۴۰ متر بر ثانیه است. شکل ۲، نمایی از محفظه آزمایش تونل باد را نشان می‌دهد.

شکل ۲: محفظه آزمایش تونل باد

صفحه تختی از جنس آلومینیوم به موازات محفظه آزمایش قرار داده شد. ابعاد صفحه ۵۹×۱/۹۵سانتی‌متر و ضخامت آن ۱۰ میلی‌متر بود. المان‌های زبری به صورت نیم‌کروی تهیه شدند. ابتدا بدون حضور المان‌ها و بعد با نصب المان‌های مورد نظر روی صفحه تخت، اندازه‌گیری سرعت انجام شد. المان‌ها، در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از لبه حمله صفحه تخت، قرار داده شد. شکل ۳، قرار گرفتن المان‌ها روی صفحه تخت را نشان می‌دهد. ارتفاع المان‌ها، ۲ میلی‌متر و قطر آن‌ها ۴ میلی‌متر بود. فاصله بین المان‌ها، سه برابر قطر المان‌ها برابر با ۱۲ میلی‌متر در نظر گرفته شد. با این فاصله، المان‌ها می‌توانند به عنوان المان‌های گسسته و مجزا عمل کنند (K. J. A. Westin, 1994) این المان‌ها، به طول ۴۸ سانتی‌متر، در عرض صفحه تخت قرار گرفتند تا از لبه‌های صفحه تخت فاصله داشته باشند. داده‌برداری با استفاده از دستگاه جریان‌سنج سیم داغ انجام شد. پراب سیم داغ یک بعدی و جنس سیم آن از تنگستن و قطر آن در حدود ۵ میکرون بود. نرم‌افزار لب‌ویو کار انتقال و پردازش داده‌ها را انجام داد.



شکل ۳: نصب المان‌ها روی صفحه تخت

۲-۲. ارائه داده‌ها

بی بعد شدن سرعت به این منجر می‌شود که شکل پروفیل سرعت در راستای طول صفحه متشابه باشد. در ناحیه جریان آرام، پروفیل‌های سرعت اندازه‌گیری شده، بر حسب پارامترهای تشابهی بلازیوس، بی‌بعد شدند. این پارامترها به صورت رابطه ۱ و ۲ تعریف می‌شوند:

$$\eta = y\sqrt{(U_{99}/\nu\, x)} \qquad (۱)$$

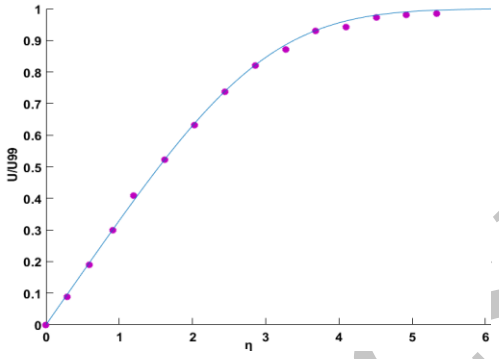
$$f'(\eta) = U/U_{99} \qquad (۲)$$

www.SID.ir

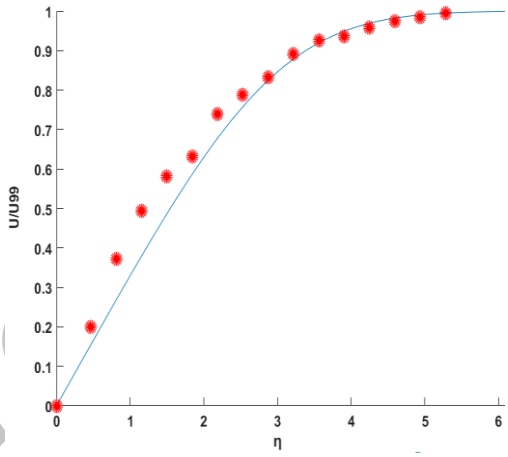
که در رابطه ۱ و ۲، U_{99} سرعت جریان در هنگام خروج از لایه مرزی، U سرعت لحظه‌ای جریان درون لایه مرزی، y فاصله قائم از صفحه تخت، x فاصله از لبه حمله صفحه تخت و η و $f'(\eta)$ پارامترهای تشابهی می‌باشند.

۲-۳. نتایج و بحث روی نتایج

اعتبارسنجی داده‌ها با مقایسه پروفیل سرعت بی‌بعد با پروفیل استاندارد بلازیوس انجام شده است. شرایط استاندارد بلازیوس، گرادیان فشار صفر و شدت توربولانسی صفر برای حل معادلات جریان آرام روی صفحه تخت می‌باشد. بدیهی است که در صورت عدم برقراری این شرایط، پروفیل سرعت بی‌بعد از پروفیل استاندارد بلازیوس، فاصله می‌گیرد. پروفیل‌های سرعت بی‌بعد جریان روی صفحه تخت، در حالتی که المان وجود ندارد؛ در شکل‌های ۴ و ۵ رسم شده است و با پروفیل بلازیوس، مقایسه شده‌اند.



شکل ۴: مقایسه پروفیل سرعت متوسط بی‌بعد روی صفحه تخت بدون المان با پروفیل بلازیوس، در سرعت ۴/۵ متر بر ثانیه و در فاصله ۴۵/۸ سانتی‌متری از لبه حمله

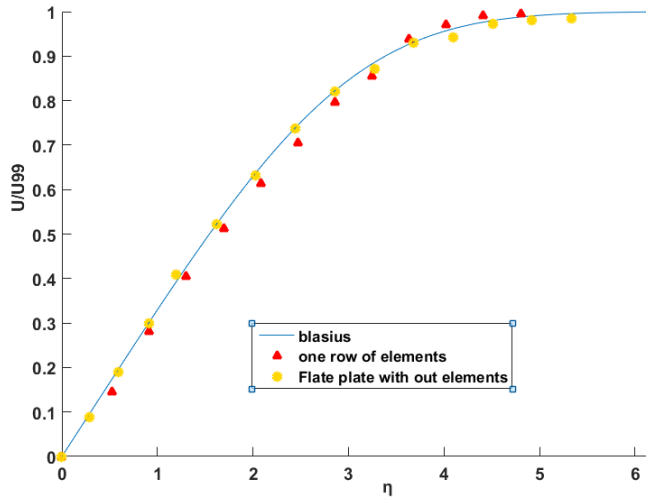


شکل ۵: مقایسه پروفیل سرعت متوسط بی‌بعد روی صفحه تخت بدون المان با پروفیل بلازیوس، در سرعت ۴/۵ متر بر ثانیه و در فاصله ۵۸/۵ سانتی‌متری از لبه حمله

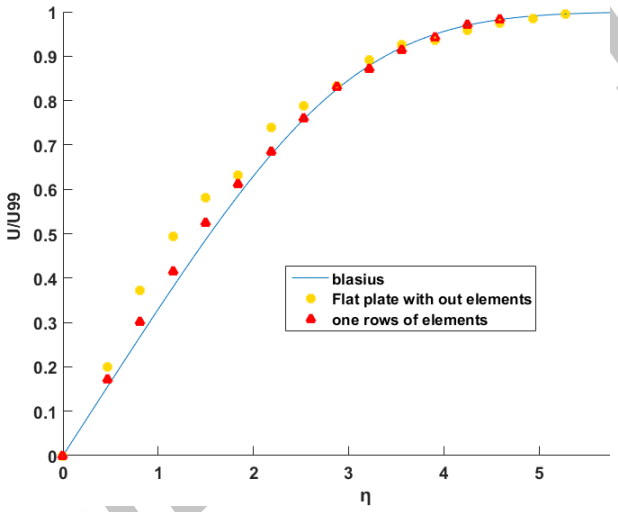
پروفیل‌های سرعت بی‌بعد روند یکسانی مطابق با پروفیل بلازیوس طی می‌کنند. همان‌طورکه قبلا ذکر شد در حل تشابهی بلازیوس، گرادیان فشار، صفر و شدت آشفتگی جریان، صفر است. از آنجا که شدت آشفتگی تونل باد دانشگاه صنعتی شیراز در زمان آزمایشات ۰/۶٪ بود؛ پروفیل‌های سرعت بی‌بعدشده، نسبت به پروفیل بلازیوس انحراف دارند.

در شکل‌های ۶ و ۷ این پروفیل‌های بی‌بعد سرعت، برای دو حالت بدون المان و با حضور المان‌ها رسم و با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

www.SID.ir



شکل ۶: مقایسه پروفیل‌های سرعت لایه مرزی، در سرعت ۴/۵ متر بر ثانیه و فاصله ۴۵/۸ سانتی‌متری از لبه حمله



شکل ۷: مقایسه پروفیل‌های سرعت لایه مرزی در سرعت ۴/۵ متر بر ثانیه و فاصله ۵۸/۵ سانتی‌متری از لبه حمله

همان‌طور که از هر دو شکل۶ و ۷ برمی‌آید؛ با نصب المان‌ها، شیب نمودار پروفیل سرعت بی بعد (المان‌های مثلثی شکل)، نسبت به حالتی که المان نداریم (المان‌های گرد)، کمتر شده است. تغییرات کمتر سرعت نسبت به فاصله از سطح، نشان‌دهنده کمتر بودن ضخامت لایه مرزی است و این به معنی جریان آرام‌تر شده است.

۳. نتیجه‌گیری

اگر ارتفاع المان‌های زبری نیم‌کروی، کمتر از ارتفاع بحرانی (کمتر از نصف ضخامت لایه مرزی در محل نصب) باشد، المان‌ها، فرایند گذار جریان را به تعویق می‌اندازند. نتیجه‌گیری فوق، با مقایسه پروفیل‌های سرعت متوسط جریان لایه مرزی، در دو حالت بدون حضور المان و با حضور المان‌ها روی صفحه انجام شد. با قرارگیری المان‌ها روی صفحه تخت، شیب پروفیل سرعت نسبت به حالت بدون المان، زیادتر می‌شود که نشان‌دهنده آرام شدن جریان است. با آرام شدن جریان، مقدار اصطکاک پوسته‌ای کم می‌شود که کارایی زیادی در صنایع به خصوص صنعت هوافضا دارد.

www.SID.ir

مراجع

Environmentally Responsible Aviation N+2 Advanced Vehicle Study," Northrop .(۲۰۱۳) .A. Drake, C. H .NASA CR-2013-218304 *.Grumman Systems Corporation Final Technical Report*

Eur. J. Mech. B .On Tollmien-Schlichting-like waves in streaky boundary layers .(۲۰۰٤) .Brandt, C. C *.Fluids, vol. 23, pp. 815-82*

Proc. 5th Int. Congr. .Some recent developments in the study of turbulence .(۱۹۳۹) .G. Taylor, J. H .Wiley *.App. Mech*

Research .Skin friction and stability of laminar boundary layer on a flat plate .(۱۹٦۳) .Gross, F. J *.memo*

Phys Rev Lett, .Delaying transition to turbulence by a passive mechanism .(۲۰۰٦) .J. H. Fransson, A. T *.vol. 96*

Experiments in a boundary layer subject to free-stream turturbulence .(۱۹۹٤) .K. J. A. Westin, A. V *.J. Fluid Mech, vol. 281* .Part I: Boundary layer structure and receptivity

Numerical study of the stabilisation of boundary-layer disturbances by .(۲۰۱۰) .P. Schlatter, E. D . *Int J Flow Contr, vol. 2, pp. 259-288* .finite amplitude streaks

.McGrow-Hill *.Boundary layer theory* .(۱۹۹٥) .schilichting, H

Archive of SID

www.SID.ir

The experimental study of the effect of Discrete Roughness Elements on the Transition of the boundary layer

Jahanmiri M
Department of Mechanical and Aerospace Engineering, SHIRAZ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
, Fazl Abad Street, Modares Blvd, Shiraz, Iran, E-mail: Jahanmiri@sutech.ac.ir

Hatami A
Department of Mechanical and Aerospace Engineering, SHIRAZ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
, Fazl Abad Street, Modares Blvd, Shiraz, Iran, E-mail: Afsoon_hatami@yahoo.com

Archive of SID

Abstract. Many attempts have been done to delay the transition process of boundary layer flow. In this study, the effect of discrete roughness elements on the delay of the transition of the boundary layer on a flat plate is investigated empirically. If the height of the discrete roughness elements is less than half of the thickness of the boundary layer at the installation site; the transition from the laminar to the turbulent regime is delayed. In the present work, hemisphere roughness elements were placed on a flat plate to examine their effect on delaying the transition process. Experiments were carried out at a speed of 4.5 m / s and at two distances of 45.8 and 58.5 cm from the leading edge of the flat plate in the wind tunnel of Shiraz University of Technology. The measurements were carried out once without elements and again by placing the elements on a flat plate. These elements are placed in a row on the screen. Based on the results, with the presence of elements, the slope of the profile is slower, indicating the delay of the boundary layer transition.

Keywords: Discrete Roughness Elements - Boundary Layer Transition - Velocity Profile

www.SID.ir