بررسی تجربی اثرات سیم اغتشاشساز بر روی مشخصههای

دنباله آبشار خطی کمپرسور

عبدالامیر بک خوشنویس^۱ و محسن وحیدی^۲ گروه مهندسی مکانیک دانشگده فنی و مهندسی دانشگاه حکیم سبزواری

(تاریخ دریافت: ۹۱/۰۳/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۸/۱۷)

چکیدہ

در این مقاله به دلیل اهمیت شدت اغتشاشات جریان ورودی به محفظه احتراق موتور، اثر مغشوش کردن جریان روی پره بر خصوصیات دنباله جریان در یک آبشار خطی کمپرسور به صورت تجربی بررسی شده است. بدین منظور، دو سیم در طول هر پره نصب و اثر آنها بر سرعت متوسط، شدت اغتشاشات و فرکانسهای گردابهای در عددرینولدز ۴۵۵۰۰ مورد مطالعه قرار گرفته است. برای اندازه گیری پارامترهای دنباله، از جریانسنج سیم داغ یک بعدی استفاده شده است. تولید آشفتگی به وسیله سیمهای اغتشاش ساز، سبب شد که جدایش در لایه مرزی، در فاصله دورتری از لبه حمله اتفاق بیفتد و عرض دنباله نیز کاهش یابد. نصب سیم همچنین سبب افزایش بیشینه اغتشاشات در دنباله پره و کاهش فرکانس در بیشینه دامنه و در نتیجه کاهش عدد استروهال گردید.

واژههای کلیدی: جریان سنج سیم داغ، سیم اغتشاش ساز، آبشار خطی کمپر سور، عدد استروهال، شدت اغتشاشات

Experimental Investigation of Characteristics of Wake Related to Linear Compressor Cascade with Turbulence Promoters A.B. Khoshnevis and M. Vahidi

Eng. Faculty Hakim Sabzevari Univ. (Received: 19 June, 2012; Accepted: 8 November, 2013)

ABSTRACT

In this paper, due to the importance of incoming flow turbulence intensity into combustion chamber, tripping wire effect on the flow wake has been experimentally investigated within a linear compressor cascade. To do this, two wires were implemented along each blade and their effects on average velocity, turbulence intensity and vorticity frequencies at Reynolds number 45500 were accurately considered. To measure wake parameters, single channel hot wire anemometer was used. Turbulence creation in response to the turbulence promoters made the separation to take place within the boundary layer in a distance farther from the edge of attack and also a decrease in wake width was observed. It is found that turbulence promoters increased the maximum turbulence intensity in blades wake and also reduced corresponding frequency in maximum amplitude and the Strouhal number, consequently.

Keywords: Hot-Wire Anemometer, Turbulence Promoters, Compressor linear Cascade, Strouhal Number Turbulence Intensity

۱. دانشيار (نويسنده پاسخگو) : khosh1966@yahoo.com

۲. کارشناسی ارشد: eng.vahidi@gmail.com

٣	٠

علائم	فهرست
-------	-------

С	طول وتر پره، mm
D	قطر استوانه، mm
d	قطر سیمھا، mm
E	ولتاژ بالای پل وتسون،V
E _r	V، T ، الای پل وتسون در دمای V، T
f	فرکانس جریان در دامنه بیشینه، Hz
i	زاویه برخورد پره، ⁰ درجه
NO	مونوكسيد نيتروژن
	ثابت كاليبراسيون و توان رابطه
n	ضريب تصحيح
Re	عدد رينولدز
Re _{cr}	عدد رينولدز بحرانى
Re_d	عدد رینولدز زبری
St	عدد استروهال
Т	دمای محیط آزمایش، ⁰ C
T _a	دمای جریان سیال، ⁰ C
T _r	دمای مرجع، C ⁰
%Tu	درصد شدت اغتشاشات جریان سیال
T_w	دمای حسگر، C ⁰
U	مؤلفه افقی سرعت جریان، m/s
U $_{\infty}$	سرعت جریان ورودی خوانده شده توسط
بيتوت، m/s	لوله
u [/]	مؤلفه اغتشاشی سرعت افقی، m/s
$\boldsymbol{\mathcal{U}}_{d}$	سرعت موضعی زبری،
m/s V	مؤلفه عمودی ساعت جریان، m/s
v v	مؤلفه اغتشاشی سرعت عمودی، m/s
$W = \sqrt{U^2 + V^2}$	
W = V U + V	سرعت متوسطی که سیسور صبط می کند m/s
W_{ref}	سرعت جریان آزاد، m/s
x	فاصله از لبه فرار پره، mm
у	نصب پرەھا، mm
C_{d}	ضريب پسا
C_{l}	ضريب برآ
علائم يونانى	
γ	زاویه نصب پرهها، درجه
V	ويسكوزيته سينماتيكي، m²/s

۱– مقدمه

گاهی اوقات برخی عوامل خارجی، به ویژه موانع و پستی بلندیهای هندسی، میتوانند موجب شوند که فرآیند گذر از www.SID.ir

جریان لایهای به آشفته، به صورت ناگهانی و در فاصلهای بسیار کوتاه رخ دهاد. در کاربردهای مهندسای، ایان روش را به اصطلاح تریپ کردن^۱ لایه مرزی مینامند و برخلاف ظاهر مضر آن، کاربردهای متنوع و گستردهای دارد.

میزان تأثیر زبری سطوح بر روی جریان سیال، وابسته به اندازه نسبی عناصر زبری در مقایسه با طول مقیاس لزج جریان است. اثر زبری میتواند از اثرات ناچیز و غیرقابل توجه و کاملاً زبریهایی با طول مقیاس ناچیز، تا اثرات قابل توجه و کاملاً مؤثر برای زبریهای با طول مقیاس بزرگ، متغیر باشد. اولین و بارزترین تأثیر زبری سطح بر روی جریان، افزایش مقاومت در مقابل عبور جریان است که خود را به صورت افزایش پسای اصطکاکی برای جریانهای خارجی و یا افزایش افت فشار برای جریانهای محصور (جریانهای داخلی) نشان میدهد. زبری سطوح همچنین میتواند منجر به افزایش نرخ تبادل مومنتوم، گرما و جرم از طریق دیوارهها گردد.

در فرآیند تریپ کردن لایه مرزی جریان تراکمناپذیر، چندین فاکتور مهم و مؤثر حضوری فعال دارند که در این میان عدد ماخ جریان، مهمترین عامل محسوب می شود. همان طور که در شکل ۱ مشخص است، اندازه ارتفاع زبری مورد نظر را می توان با ۵ نمایش داد.



شکل (۱): لایه مرزی ایجاد شده در حضور مانع.

پروفیل سرعت نشان داده شده در موقعیت x از ابتدای لبه حمله صفحه (یا همان موقعیت نصب عنصر زبری)، پروفیل سرعت، مربوط به وضعیتی است که هیچ گونه زائدهای به عنوان زبری در مسیر جریان وجود ندارد. عدد رینولدز زبری بر مبنای اندازه ارتفاع زبری، d، اندازه سرعت موضعی درست در نقطه فوقانی زائده (زبری) مورد نظر، ud و نیز ویسکوزیته سینماتیکی v تعریف می شود:

 $Re_d=u_d d/v.$

برای اعداد رینولدز زبری کوچکتر از یک مقدار مشخص، زبری هیچگونه تأثیری بر روی موقعیت نقطه گذر از حالت لایهای بـه آشفته (که به طور یقین، نقطهای در پایین دست محـل نصـب

()

این زبری خواهد بود) نخواهد داشت. اما زمانی که عدد رینولدز زبری به یک حد مشخص بحرانی میرسد، گذر جریان از موقعیت طبیعی خود به نقط ای جلوتر (به سمت بالادست جریان) منتقل خواهد شد. در سرعتهای جریان مادون صوت، در صورت رسیدن به عدد رینولدز زبری بحرانی، نقطه گذر بسیار نزدیک به موقعیت نصب زبری مورد نظر خواهد بود. نتایج تجربی متعدد موجود حاکی از آن است که در محدوده مادون صوت، عدد رینولدز بحرانی برای یک عنصر زبری (با نسبت ارتفاع به عرض یک) تقریبا ۶۰۰ می باشد. می توان نشان داد کے با افزایش عدد ماخ جریان (یا افزایش اثرات تراکمپذیری جریان) عدد رینولدز بحرانی به اعداد بزرگتر از ۶۰۰ منتقل خواهد شد [۱]. می توان گفت گذار در لایه مرزی تحت تأثير زبرى سطح و تلاطم جريان قرار دارد. بنابراين کاهش بازدارندگی وابسته به لایه مرزی متلاطم برای یک مقدار یکتا از عدد رینولـدز روی نمے دهـد. آزمایش هـا نشان میدهند برای سطوح زبر و یا جریان با تلاطم زیاد، گذار می تواند در عدد رینولدز بحرانی با مقدار کم ۵۰۰۰۰ روی دهد. در تحقیق حاضر، سیمهای اغتشاشساز بر روی پرههای یک آبشار کمپرسور خطی نصب شده و اثرات آن بر روی مشخصههای دنباله بررسی شده است.

۲-تحقیقات انجام شده

بررسیهای انـدکی تنهـا بـه مطالعـه اثـرات آشـفتگی بـر روی احتراق اختصاص داده شده است.

کاماجی و آیسودا^۱ احتراق یک ریز قطره معلق در یک میدان صوتی را مورد بررسی قرار دادند [۲]. نتایج آنها بیانگر افزایشی اندک در نرخ احتراق تا یک مقدار بیشینه و بعد از آن کاهشی به مقداری کمتر از نرخ احتراق ایستا، با افزایش دامنههای میدان صوتی بود.

کار تجربی که فقط به اثرات آشفتگی بر روی احتراق ریز قطره بپردازد، توسط اوتا^۲ و همکاران انجام شده است [۳]. آشفتگی با استفاده از چهار فن مستقر در اطراف قطر یک محفظه استوانهای ایجاد شده است. در این مطالعه آنها از یک کره متخلخل با قطرهای مختلف استفاده کرده و مشاهده نمودند که نرخ احتراق متناسب با شدت آشفتگی به یک مقدار بیشینه میرسد و سپس برای شدت اغتشاشات بزرگتر کاهش مییابد.

هاشمی و همکاران اثر شدت اغتشاشات هوا بر روی تشکیل NO در احتراق مخلوط سوختهای هیدروکربن و هیدروژن را به صورت عددی بررسی کردند [۴]. نتایج آنها نشان داد که افزایش شدت اغنشاشات هوا، غلظت NO را در ناحیه شعله و در خروجی محفظه احتراق کاهش میدهد. با افزایش شدت اغتشاشات هوا، بیشینه افزایش NO در خروجی محفظه احتراق، برای مورد سوخت هیدروژن خالص رخ میدهد.

خوشنویس و همکاران به صورت تجربی و با استفاده از جریانسنج سیم داغ، دنباله سیلندری که دو سیم در زوایای 400,140⁰ α=40,200 آن نصب شده را مورد بررسی قرار دادند [۵]. نتایج نشان داد برای ۳۰۰۰۰ = Re، حالت بهینه ای وجود دارد که در آن ضریب پسای عامل بر روی سیلندر به مقداری کمتر از ضریب پسای سیلندر صاف میرسد.

گرجی و همکاران تأثیر نیروی باد بر کابلهای برق را در تونل باد مورد بررسی قرار دادند [۶]. تقریباً در همه مدلها به جز کابل روکش دار، ضریب پسا در سرعت ۲۴ متر بر ثانیه کمتر از سرعت ۱۷ متر بر ثانیه بوده و افزایش اغتشاشات و مومنتوم جریان سبب شده که عدد رینولدز بحرانی و در نتیجه افت ناگهانی ضریب پسا، در رینولدزهای کمتری اتفاق بیفتد.

فروزش و همکاران اثر اغتشاشات جریان ورودی بر روی پارامترهای دنباله جریان در پشت یک ایرفویل متقارن NACA0012 را در زاویه حمله صفر و عدد رینولدز ۳۸۲۰۰ بررسی کردند [۷]. آنها مشاهده کردند که در هر سه حالت اغتشاشی، با افزایش نسبت x/d و شدت اغتشاشات ورودی، مقدار نصف دهانه دنباله (b1/2) افزایش مییابد. فاصله شکل گیری گردابه نیز با شدت اغتشاشات کاهش یافته است.

از تحقیقاتی که اثر سیم اغتشاشساز بر روی ایرفویل را بررسی کردهاند، میتوان به موارد زیر اشاره نمود:

کیانگو و لیگران^۳ اثرات زبری و اغتشاشات ورودی را بر روی دنباله ایرفویل در سرعتهای مادون صوت به صورت تجربی مطالعه نمودند، و از این مطالعه نتیجه گرفتند زمانی که زبری سطح افزایش مییابد، تمامی نمودارهای دنباله اعم از سرعت متوسط و شدت اغتشاشات به طور قابل ملاحظهای گسترش مییابند و فرکانس گردابهای بدون بعد کاهش یافته و همچنین اغتشاشات ورودی جریان اثرات کمتری در سرعت دنباله افتشاشات دادد نمودار دنباله وابستگی قابل ملاحظهای نسبت به زبری سطح دارد، در مورتی که نسبت به شدت اغتشاشات ورودی حساسیت کمتری

¹⁻ Kumagai and Isoda

²⁻ Ohta

³⁻ Qiang and Ligran

دارد. تیمر^۱ و رویج^۲ در سال ۲۰۰۳ در تونل باد، به بررسی تجربی اثرات سیم اغتشاش ساز نصب شده روی دماغه ایرفویل DU 93-W-210 پرداختند [۹]. قطر سیمها MN ۲۱ و TMM و عدد رینولدز در تحقیق آنها ⁶01×2 انتخاب شده بود. آنها سیمها را در موقعیت ۲% ۱، ۲% ۵/۰۰ ۲% ۵/۰ و ۲% ۰ سطح فشار ایرفویل نصب کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که استفاده از سیم به قطر TMM که در ۲% ۲۸۵ نصب شده، تأثیر بسزایی در افزایش ظرفیت بیشینه لیفت ایرفویل دارد. در صورتی که سیم نازکتر در موقعیت مذکور تأثیر چندانی از خود نشان نمیدهد و سطح بازدارندگی عریضی را از خود به جا می گذارد.

فردنریچ^۳و همکاران توسط تونل باد و روشهای عددی، اثرات رینولدز در محدوده ۱۰^۶×۱۰-^۹۱۰ و زبری روی ایرفویل DU97-300 که کاربرد در توربینهای بادی دارد، را مورد بررسی قرار دادند [۱۰]. آنها در بحث استفاده از زبر کنندهها، که شامل سیم اغتشاشساز و نوار زیگزال بود، مشاهده کردند که سیم اغتشاشساز نصب شده در ۲/۳=x/c از دماغه ایرفویل به صورت جزئی باعث افزایش بیشینه ضریب برآ نسبت به ایرفویل صاف می گردد. همچنین باعث کاهش میم (Cl/Cd) می شود.

فاکادوم[†]و همکاران با استفاده از سیم اغتشاش ساز به بررسی کارایی ایرفویل متقارن NACA0018 پرداختند [۱۱]. آنها با نصب سیم مورد نظر در دماغه ایرفویل، نشان دادند که استفاده از سیم اغتشاش ساز، ضریب برآ را در زوایای برخورد بزرگتر، افزایش میدهد. همچنین نشان دادند سیم مورد نظر، بدون افزایش ضریب پسا عامل بهبود زاویه استال^۵ در ایرفویل میباشد. از طرف دیگر در زوایای برخورد بزرگتر برای ایرفویل بدون سیم، جدایش جریان بزرگتری اتفاق افتاده که استفاده از سیم در این فرآیند را محدود ساخته و باعث افزایش نیروی برآ و کارایی ایرفویل شده است.

هابر و مولر^۶ نیز در آزمایشات خود نشان دادند که اثرات سیم اغتشاشساز در موقعیت بیشینه ضخامت ایرفویل Wortmann 63-137، تأثیرات مضر برای بیشینه لیفت را محدود می کند. آنها نشان دادند قرار گرفتن سیم در این موقعیت می تواند منجر به کاهش ضریب پسای کمینه شود [۱۲].

1- Timmer

همچنین در سال ۲۰۰۳، خوشنویس به بررسی دنباله یک ایرفویل متقارن درون یک کانال/دیفیوزر مستقیم و کانال/دیفیوزر خمیده پرداخت [۱۳]. ایرفویل مجهز به سیم اغتشاشساز بود و نتیجه تحقیق نشان داد گرادیان فشار معکوس، شدت استهلاک تفاضل سرعت در دنباله را کاهش میدهد.

۳- انگیزہ تحقیق

استفاده از سیم اغتشاش ساز، به ویژه در اعداد رینولدز بالا، سبب تغییرات اساسی نهانی در نقطه جدایش جریان می شود. نوسانهای دینامیکی که ذات جریانهای آشفته می باشند، می توانند باعث اختلاط و تبادل شدید کمیتهای جریانی، به ویژه مومنتوم، حرارت و جرم گردند. از این رو جریانهای آشفته، جریانهایی به شدت اضمحلالی و با ضریب اصطکاک (و ضریب انتقال حرارت و ضریب انتقال جرم) بالا در مقایسه با جریانهای لایهای محسوب می شوند. هرچه میزان نوسان در مقیاس بزرگ تری رخ دهد، اندازه تبادل مومنتوم و حرارت رخ داده بزرگ تر خواهد بود. بنابراین (با در نظر گرفتن افت فشار افزایش یافته در جریانهای آشفته)، در مسائل در گیر با انتقال حرارت و انتقال جرم، آشفته نمودن جریان تا جایی که افت فشار افزایش یافته منجر به ناکارآمدی و عدم صرفه اقتصادی پروژه نگردد، همواره مدنظر مهندسین بوده است.

هدف تحقیق حاضر، بررسی اثرات نصب سیم اغتشاش ساز روی پرههای آبشار خطی کمپرسور بر مشخصههای دنباله آبشار کمپرسور مادون صوت میباشد، به گونه ای که روند تغییر پروفیل های سرعت، اغتشاشات و مومنتهای سرعت در نهایت با آبشار کمپرسور ساده مقایسه می گردد. تحقیق حاضر اطلاعات جدیدی را در مورد تأثیر سیم اغتشاس ساز بر روی دنباله آبشار کمپرسور جمع آوری می کند.

۴-تجهیزات آزمایشگاهی

تمام آزمایشهای تحقیق حاضر در آزمایشگاه تونل باد انجام شده است. تونل باد مورد استفاده در این آزمایش از نوع مدار باز با قدرت ۷ kW و دمشی است. جهت انجام این آزمایش، یک محفظه با طول ۱۵۰ د عرض ۴۰cm و ارتفاع ۱۵۵۳ از جنس پلکسی گلاس ساخته شده است (شکل ۲). سرعت تونل باد را میتوان با کنترل دورفن تعبیه شده در آن، از ۳۰– متر بر ثانیه تغییر داد. در این تحقیق توان تولیدی برای هر کدام از آزمایشها یکسان انتخاب شده است. با توجه به مشخصات تونل باد حداکثر اغتشاشات اسمی جریان آزاد برای این دستگاه ۱/۱

²⁻ Rooij

³⁻ Freudenreich4- Fukudome

⁵⁻ Stall

⁶⁻ Huber and Muelle

درصد است که از این حیث دستگاه تونل باد دارای دقت بالایی است.



برای اندازه گیری پارامترهای جریان، از جریانسنج سیم داغ دما ثابت استفاده شده که توانایی اندازه گیری سرعت متوسط، اغتشاشات و فرکانس و گردابههای خارج شونده از آبشار را دارد. تونل باد و دستگاه جریانسنج سیم داغ هر دو ساخت شرکت فراسنجش صبا میباشند. پراب استفاده شده در این آزمایشها یکبعدی بوده و دارای سنسوری به طول ۱/۲۵ میلیمتر و قطر ۵ میکرومتر میباشد.

آزمایش ها در فصل زمستان انجام شده و کالیبراسیون دستگاه در دمای محیط ۱۵^۵ =T صورت گرفته است. البته دمای محیط آزمایشگاه در طول روز متغیر بوده اما بازه تغییرات در حد ۲ درجه قابل قبول است. در تحقیقی که سالاری و همکاران اثر تغییر دمای هوای جریان آزاد (دمای تونل) بر منحنی مشخصه و کالیبراسیون حسگرهای سیم داغ را به صورت تجربی بررسی کردهاند. نتایج نشان میدهد که با افزایش دمای تونل، ولتاژ بالای پل مدار وتستون در دستگاه افزایش دمای تونل، ولتاژ بالای پل مدار وتستون در دستگاه سرعت سیال و نسبت فراگرمایی آزمایش بستگی دارد که معمولاً در عمل برای تصحیح این اثر از ضرایب تصحیح دما استفاده میشود [۱۴]. همچنین نتایج بررسی اثر تغییر دمای معمولاً در عمل برای تصحیح این اثر از ضرایب تصحیح دما استفاده میشود یا ا

مقدار این ضریب تصحیح برای HWA در سرعت سقدار این ضریب تصحیح برای HWA در سرعت U=۲۰m/s برابر ۱۵–۱۶۰۵ به دست آمده که با قرار دادن در رابطه (۱)، میتوان مقدار واقعی ولتاژ تصحیح شده را به دست آورده و به کمک منحنی کالیبراسیون حسگر، سرعت واقعی جریان را محاسبه نمود.

$$\frac{E_r}{E} = \left[\frac{T_W - T_r}{T_W - T_a}\right]^n \tag{1}$$

برای حرکت پراب در نقاط مختلف از یک انتقال دهنده با دقت جابهجایی ۰/۰۱ میلیمتر و با سه درجه آزادی استفاده شده

است [1۵]. این مکانیزم به صورت موازی با خط نصب پرهها حرکت کرده و دادههای مورد نظر را ضبط مینماید. مکانیزم فوق بر روی قابهای جداگانهای مستقل از پایههای تونل باد نصب شدهاند تا ارتعاشات احتمالی بدنه تونل به مکانیزم جابهجاکننده پراب منتقل نگردد و کیفیت دادهبرداری افزایش یابد.

آبشار کمپرسور مورد آزمایش دارای ۳ عدد پره از نوع KH-۴۳۵۶ بوده که با زاویه نصب ۴۰ درجه در مقطع آزمایش قرار داده شدهاند (شکل ۱).

پرههای مورد آزمایش دارای ارتفاع ۱۱۵mm و طول وتر ۳۳mm میباشند. سیمهای مورد استفاده جهت ایجاد اغتشاش، دارای قطر ۲mm بوده که در هر دو طرف پره در قسمت میانی آنها نصب شده است (شکل ۳).



شکل (۳): نمایی از نصب سیمهای اغتشاش ساز بر روی پرههای کمپر سور در تونل باد.

۵- تحلیل نتایج

این تحقیق اثر سیم اغتشاشساز بر روی پارامترهای دنباله و اغتشاشات آبشار یک کمپرسور خطی را بررسی می کند. بدیهی است با فاصله گرفتن از پشت ایرفویل، دنباله ایرفویل از بین می رود، چون لایه برشی موجود تحت تأثیر جریان آزاد قرار می گیرد و در نتیجه جریان آزاد سعی بر مستهلک ساختن لایه برشی تحت نام دنباله می کند [۱۶]. به همین دلیل، داده برداریها در یک فاصله از لبه فرار و در ۰/۵ = x/c (x فاصله برداریها در یک فاصله از لبه فرار و در ۵/۵ = x/c (x فاصله موقعیت پراب از لبه فرار ایرفویل و c طول وتر پره می باشد) و در زوایای برخورد ۵-i ا ۰ = و ۵=i انجام شد. آزمایش ها در به صورت ساده در تونل باد بررسی شده و سپس در مرحله دوم، به صورت ساده در تونل باد بررسی شده و سپس در مرحله دوم، پره ها به گونهای که یکی در سطح بالایی و دیگری در سطح پره ها به گونهای که یکی در سطح بالایی و دیگری در سطح

انتخاب شد و سپس در زوایای برخورد۰، ۵ و ۵- i و عدد رینولدز ۴۵۵۰۰ Re= (که بر اساس طول وتر پره، سرعت جریان آزاد و ویسکوزیته دینامیکی در دمای ۱۵ درجه به دست آمده) پارامترهای جریان اندازه گیری شده است (شکل ۴).



در آبشار کمپرسور.

برطبق رابطه (۱)، با داشتن ارتفاع زبری و سرعت موضعی جریان بر روی سیم، میتوان عدد رینولدز زبری ناشی از نصب سیمهای اغتشاشساز را به دست آورده و با مقدار رینولدز بحرانی مقایسه نمود.

با اندازه گیری مقدار سرعت موضعی توسط جریانسنج سیم داغ، اسلامی اسلامی و ارتفاع زبری (قطر سیم اغتشاشساز)، d= ۱۵ m/s در مقدار رینولدز زبری برابر با ۲۰۶۸=Re است که در مقایسه با مقدار رینولدز بحرانی(Re_{ct}=۶۰۰) بیشتر است. برطبق مرجع [۱] میتوان گفت که موقعیت نقطه گذر از حالت لایهای به آشفته، به نقطهای جلوتر و نزدیکتر به لبه حمله پره منتقل شده است.

سرعتی که حسگرهای تک مؤلفهای به علت شکل هندسی خود (استوانهای شکل)، نشان می دهند علاوه بر اندازه سرعت در جهت جریان (U)، شامل اندازه سرعت عمود بر راستای جریان (V) نیز می باشد و بیانگر بزرگی سرعت جریان (W) است ($V^2 + V^2$) در صورتی که با افزایش فاصله از پشت مدل، سرعت اندازه گیری شده توسط حسگر به مقدار سرعت در راستای جریان (U) نزدیک می شود. از آنجا که داده برداری ها در این تحقیق، در فاصله ۵/۰=x/c (فاصله ای نزدیک به لبه فرار پرهها) انجام شده ، از عبارت W برای نشان دادن

سرعت ضبط شده توسط حسگر و از U_{ref} برای نمایش سـرعت جریان آزاد استفاده شده است.

۵-۱- بررسی سرعت متوسط بیبعد

با توجه به اینکه پره میانی آبشار تحت تأثیر پرههای جانبی خود میباشد، در بررسیها، تنها پروفیلهای حاصل از آن مورد تحلیل و بررسی قرار می گیرد. همان طور که از شکل ۵ پیداست، با افزایش زاویه برخورد، پروفیل سرعت ضمن انتقال یافتن به سمت چپ، کوچک شده و به سمت اضمحلال پیش میرود. این اتفاق در آبشار پرههای دارای سیم نیز تکرار می گردد، با این تفاوت که در این حالت، پروفیلهای سرعت کشیدهتر بوده و در زوایای برخورد بالاتر مضمحل می گردند (شکل ۶). پدیده اضمحلال پروفیل سرعت به این دلیل است که افزایش زاویه نصب سبب می شود آبشار، تبدیل به آبشار توربین شود و کاهش زاویه نصب، آبشار را به آبشار کمپرسور تبدیل نماید.



شکل (۵): مقایسه سرعت متوسط بیبعد آبشار بدون حضور سیمهای اغتشاش ساز در سه زاویه برخورد مختلف در Re=۴۵۵۰۰.



تولید آشفتگی به وسیله سیمها در لایه مرزی، سبب میشود جدایش در یک فاصله دورتر از لبه حمله اتفاق افتاده و عرض دنباله کاهش یابد [۱۷]. این اثر از لحاظ کیفی شبیه به انتقال طبیعی برای آشفتگی است که با افزایش سرعت، در موقعیتهای پیش افتاده افزایشی (جلوی نقطه رکود) بر روی سیلندر توسعه مییابد [۱۸].

در یک جریان آشفته به واسطه حرکات اتفاقی و نامنظم ذرات و وجود اغتشاش یا نوسان در جریان، گاهی در امتداد عمود بر راستای جریان اصلی، یک سری جریانهای جانبی رخ میدهد. به واسطه این عمل، مومنتوم لایههای نزدیک دیواره که به واسطه ذات اضمحلالی جریان آشفته بخشی از انرژی آنها از دست رفته، به طور دائمی توسط لایههای پرانرژی بالاتر تقویت شده و همین امر باعث میشود که بخشی از مومنتوم از دست رفته سیال مجاور دیواره، توسط لایههای پرانرژی بالاتر جبران گردد.

بعد از نصب سیمهای اغتشاش ساز، پروفیلهای سرعت بی بعد در تمام زوایا به سمت راست منتقل شده و طول پروفیل نیز به طور محسوسی افزایش یافته است که این افزایش طول در زاویه برخورد ۰ درجه، به بیشترین مقدار خود یعنی ۶/۶ می رسد (شکل ۷).

۵-۲- بررسی شدت اغتشاشات

$$\% T u = \frac{\sqrt{u'^2}}{U_{\infty}} \times 100.$$
 (7)

به علت وجود گردابه کارمن، در نواحی نزدیک به جسم، علاوه بر سرعت نوسانی ۱۱، سرعت اغتشاشی ۷ نیز قابل ملاحظه بوده و با توجه به طریقه قرارگیری سنسور در جهت جریان، این سرعت اغتشاشی نیز اندازه گرفته می شود. با توجه به مطالب فوق، در فاصلهای که داده برداری انجام شده (x/c = 0/۵)، سنسور غالباً بیشینه اغتشاشات را نشان می دهد.

با توجه به اینکه شدت اغتشاشات پره میانی مهم است، بـر طبق شکل ۸ (آبشـار بـدون حضـور سـیمهـای اغتشـاشسـاز) میتوان گفت با افزایش زاویه برخورد، اغتشاش بیشینه افـزایش یافته و قله آن نیز به سمت راست انتقال مییابد.

با در نظر گرفتن این اصل که همواره هر ذره متحرک سیال تمایل به حفظ مومنتوم خود دارد ، وقتی به واسطه یک اغتشاش کوچک یا نوسان، ذرهای از سیال داخل لایه مرزی بدون وجود پتانسیل لازم و تنها تحت اثر ذات ناپایدار جریان، از لایه با مومنتوم کم به لایه با مومنتوم بالا و یا بالعکس جهش مینماید، برای حفظ و بازگشت مومنتوم ذره به مقدار اولیه

خود، ذره در موقعیت جدید خود، حرکتی را در مقیاس کوچک ولی در خلاف جهت مومنتوم لایه مزبور انجام می دهد تا مومنتوم، به طور مجدد تا حدی به مومنتوم اولیه خود برسد. مجموعه این نوع حرکات، در کنار تمایل جریان به حفظ قانون پیوستگی، منجر به تشکیل ادی می گردد. حضور ادی می تواند باعث توزیع متناسب مومنتوم، اغتشاش، انرژی حرارتی، فشار و دما در داخل میدان گردد. در یک جریان بدون وجود گرادیان در میدان سرعت متوسط، یک نوسان در مؤلفه سرعت، لزوم به یک ادی^۱ تبدیل نشده و اغتشاش مزبور پس از مدت کوتاهی تحت اثرات لزج سریعاً میرا می گردد [۱].



شکل (۷): مقایسه سرعت متوسط بیبعد آبشار در حضور و بدون حضور سیمهای اغتشاشساز در زوایای برخورد مختلف: الف) i=۰ ، ب) i=۰ و ج) i=۵.



با افزایش زاویه برخورد در شکل **۹** (آبشار در حضور سیمهای اغتشاشساز)، عرض پروفیل نیز افزایش می ابد که بر طبق آنچه در ابتدا ذکر شد، هرچه میزان نوسان در مقیاس بزرگتری رخ دهد، اندازه تبادل مومنتوم و حرارت رخ داده بزرگتر خواهد بود. بنابراین با در نظر گرفتن افت فشار افزایش یافته در جریانهای آشفته، در مسائل درگیر با انتقال حرارت و انتقال جرم، آشفته نمودن جریان تا جایی که افت فشار افزایش یافته منجر به ناکارآمدی و عدم صرفه اقتصادی پروژه نگردد، مطلوب است.



استفاده از سیمهای اغتشاش ساز، سبب افزایش بیشینه اغتشاشات در دنباله پره شده و شکل نمودار را نیز از نـوع یـک قلهای به دو قلهای تبدیل کرده است. عرض نمـودار نیـز در هـر سه زاویه برخورد افزایش یافته، برخلاف عـرض نمـودار پروفیـل سرعت که با نصب سیم کاهش یافته است (شکل ۱۰).



شکل (۱۰): مقایسه شدت اغتشاشات آبشار در حضور و بدون حضور سیمهای اغتشاشساز در زوایای برخورد مختلف: الف) i=-۵ ، ب) i=۰ و ج) i=۰.

درست است که استفاده از سیم اغتشاش ساز، در اعداد رینولدز بالا، سبب تغییرات اساسی نهانی در نقطه جدایش جریان میشود، اما تأثیر این سیمها در رینولدزهای پایین نیز قابل مشاهده است. این تغییرات را میتوان در اشکال ۷ و ۱۰ مشاهده نمود. در شکل ۷ شاهد شتاب گرفتن سیال و افزایش

www.SID.ir

طول پروفیل سرعت بیبعد بوده و در شکل ۱۰ با نصب سیم اغتشاش ساز، افزایش اغشاشات جریان در دنباله آبشار مشاهده میشود. با در نظر گرفتن افت فشار افزایش یافته در جریان های آشفته، نصب این سیمها جهت آشفته نمودن جریان تا جایی که سبب افزایش ضریب پسای طبقه کمپرسور و افت فشار افزایش یافته نشده و عملکرد کلی کمپرسور را تحتالشعاع قرار ندهد، همواره مدنظر مهندسین بوده است.

۵-۳- بررسی عدد استروهال

با توجه به بالا بودن پاسخ فرکانسی دستگاه سرعتسنج سیم داغ نسبت به سیستمهای سرعتسنج دیگر، مناسب است تا از این امکان استفاده کرده و با پردازش نتایج خام به دست آمده، نمودارهای با مفهومی از آنالیز طیفی دنباله جریان نشان داده شود. از آنجایی که دستگاه سرعتسنج سیم داغ، اطلاعات هر نقطه را به صورت هزاران داده ذخیره می کند، ارائه اطلاعات از تمامی نقاط جریان به صورت نقطه به نقطه امکان پذیر نمی باشد. با این وجود آنالیز طیفی مؤلفههای سرعت در جهت x و y و در نقاط منتخبی از دنباله جریان، دینامیک دنباله را تا حدودی آشکار می سازد.

عدد استروهال، از اعداد بی بعد است که فرکانس نوسانات گردابههای کارمن تشکیل شده پشت مدل را به صورت بی بعد بیان می کند. عدد استروهال به صورت زیر تعریف می شود: (۳) (۳) که در آن، f فرکانس گردابه پشت مدل، c طول وتر پره و Wref سرعت جریان آزاد سیال است. فرکانس گردابههای تشکیل شده پشت مدل را می توان به وسیله سنسور جریان سنج سیم داغ در تونل باد به دست آورد.

تعیین فرکانس گردابه توسط سنسور سیم داغ: سنسور سیم داغ، میزان نوسانات جریان سیال در تونل باد را به صورت نوسان در زمان و به عبارتی در حوزه زمان دریافت میکند و با استفاده از تبدیل سریع فوریه، آن را به حوزه فرکانس برده در نمایشگر به صورت دامنه نوسان برحسب فرکانس نوسان نشان میدهد. در تونل باد مورد آزمایش، بیشینه فرکانس داده برداری AKHz انتخاب شده است (شکل **۱۱**).

در حوزه فرکانس، میتوان دامنه تمامی نوسانات (با فرکانسهای مختلف) جریان که توسط سنسور اندازه گیری میشود را مشاهده نمود. از بین تمامی نوسانات جریان پشت مدل، مسلم است که نوسانات گردابههای کارمن دارای بیشترین

دامنه هستند. بنابراین فرکانس مربوط به بیشترین دامنه، در واقع همان مقدار فرکانس گردابه کارمن است (شکل **۱۲**).



شکل (۱۱): سمت چپ نوسانات جریان در حوزه زمان و سمت راست در حوزه فرکانس.

با توجه به شکل **۱۲** میتوان گفت که در آبشار پرههای مغشوش شده، در تمام زوایای برخورد، بیشینه فرکانس در نقطهای حوالی y=۵۰mm رخ میدهد، یعنی در فاصله بین پره ۱ و ۲، که این نقطه با توجه به تغییر زاویه برخورد، تغییر میکند. همچنین میتوان گفت افزایش زاویه برخورد سبب کاهش فرکانس جریان میگردد که این کاهش در زاویه برخورد ۵ = i به طور کامل مشهود است. ایجاد اغتشاش در مجموع سبب کاهش فرکانس در بیشینه دامنه و به دنبال آن، کاهش عدد استروهال میگردد. البته این کاهش در زاویه برخورد

در زاویه برخورد ۵ =i، وجود سیمها سبب افزایش عدد استروهال می گردد و این بدان معناست که زبری، سبب شکل گیری گردابههای کارمن با فرکانس بیشتر در پشت آبشار شده است (شکل ۱۲-ج).

مقادیر عدد استروهال بهازای تغییر زاویه برخورد (که با استفاده از رابطه (۴) به دست آمده است) در جدول ۱ نشان داده شده است.

در تحقیق حاضر، تمام داده برداری ها در سرعت U= ۲۰ m/s و فاصله x/c=۰/۵ نسبت به لبه فرار پرهها انجام شده است، اما شاد آرام و همکاران با آنالیز طیفی جریان نشان دادند که با دو برابر شدن عدد رینولدز، فرکانس تشکیل گردابه اتغییر محسوسی نمییابد و همچنین با دور شدن از مدل در راستای جریان، چگالی طیف قدرتی نوسانات سرعت کاهش مییابد [۱۸]. ۶- نتیجهگیری

در این تحقیق، یک آبشار خطی کمپرسور متشکل از سه عدد پره، یک مرتبه به صورت ساده و بار دیگر با نصب سیمهای اغتشاشساز بر روی پرهها در تونل باد و در عدد رینولدز Re= ۴۵۵۰۰ مورد بررسی قرار گرفته است. برای اندازه گیری پارامترهای جریان از یک دستگاه جریانسنج سیم داغ یکبعدی استفاده شد. با توجه به مباحث عنوان شده می توان نتایج زیر را از آزمایش های انجام شده گرفت:

۱- با افزایش زاویه برخورد، پروفیل سرعت ضمن انتقال یافتن به سمت چپ، طول آن کمتر و مضمحل شده است. تولید آشفتگی به وسیله سیمها در لایه مرزی، سبب شد که جدایش در فاصلهای دورتر از لبه حمله اتفاق افتاده و عرض دنباله نیز کاهش یابد.

۲- بعد از نصب سیم، پروفیلهای سرعت بیبعد در تمام زوایا به سمت پره سمت راستی منتقل شده و قله آنها نیز جابهجا گردید، که این جابهجایی در زاویه برخورد ۰=i، به بیشترین مقدار خود یعنی ۰/۶ رسید.

۳- تریپ کردن لایه مرزی سبب افزایش بیشینه اغتشاشات در دنباله پره شده، پهنای نمودار را افزایش داده و شکل نمودار اغتشاشات را نیز از نوع یک قلهای به دو قلهای تغییر داده است.
۴- افزایش زاویه برخورد سبب کاهش فرکانس جریان شده، که این کاهش در زاویه برخورد ۵ = کاملا مشهود بوده است.
۵- استفاده از سیم-های اغتشاشساز سبب کاهش فرکانس در بیشینه دامنه و به دنبال آن، کاهش عدد استروهال گردید.
۱۹۰ این کاهش در زاویه برخورد ۵ = مالا مشهود بوده است.

۷- مراجع

- 1. Sanieinejad, M. "Fundamentals of Turbulent Flows and Turbulence Modeling", Daneshnegar Publisher, 978-964-2927-35-337, Tehran, 2009 (In Persian).
- 2. Kumagai, S. and Isoda H., "Combustion of Fuel Droplets in a Falling Chamber", Sixth Symposium (International) on Combustion, Vol. 6, pp. 726-731, 1957.
- Ohta Y., Shimoyama K., and Ohigashi S., "Vaporization and Combustion of Single Liquid Fuel Droplets in a Turbulent Environment", JSME, Bulletin, Vol.18, Jan. pp. 47-56, 1975.
- Hashemi, S.A., Fattahi, A., Sheikhzadeh, G.A. and Mehrabian, M.A. "Investigation of the Effect of Air Turbulence Intensity on NO_x Emission in Non-Premixed Hydrogen and Hydrogen-Hydrocarbon Composite Fuel Combustion", Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 36, pp. 10159-10168, 2011.



جدول (۱): مقادیر عدد استروهال برای آبشار کمپرسور در

زواياي برخورد مختلف.

	بدون سيم		در حضور سیم			
i	-۵	•	۵	۵-	•	۵
f	1080	1.2.	۱۲۰	٨۴٠	۶۱۹	۷۲۰
St	۲/۵	۱/۶	۰/٣	۱/۴	۱/۰	١/٢

www.SID.ir

Archive of SID

- Khoshnevis A.B., Foroozesh F., Pedram M., and Vahidi M. "Experimental Investigation on Drag Coefficient Reduction Due to Tripping Wire on a Cylinder", J. Solid and Fluid Mech., Vol. 2, No. 2, pp. 81-90, 2012.
- Gorji M.E., Khoshnevis A.B., Gholipoor Asrami E. and Vahidi M. "Experimental Investigation of Air Flow Velocity Profiles Effect on the Wires and Cables of Power Transmission Lines and Supporting Devices", J. Solid and Fluid Mech., Article 8, Vol. 2, No. 1, Page 83-97, Spring 2012.
- Foroozesh F., Khoshnevis A.B., and Vahidi M. "Experimental Investigation of Flow Turbulence Effects on the Flow Wake Parameters Around a NACA0012 Airfoil", Fluid Mech. and Aero. J. Vol. 2, No. 1, pp. 83-93, Spring 2013.
- 8. Qiang Z. and Ligrani P.M. "Wake Turbulence Structure Downstream of a Cambered Airfoil in Transonic: Effect of Surface Roughness and Freestream Turbulence Intensity", Int. J. Rotating Machinery, Vol. 2006, No. 60234, pp. 1-12, 2006.
- 9. Timmer W.A. and Van-Rooij R.P.J.O.M. "Summary of the Delft Univ. Wind Turbine Dedicated Airfoils", Journal of Solar Energy Engineering-transactions of the ASME, Vol. 125, No. 4, pp. 488-496, 2003.
- Freudenreich K., Kaiser K., Schaffarczyk A.P., Winkler H., and Stahl B. "Reynolds Number and Roughness Effect on Thick Airfoil for Wind Turbines", Wind Eng., Vol. 28, No. 5, pp. 528-546, 2004.
- Fukudome K., Watanabe M., Iida A., and Mizuno A. "Separation Control of High Angle of Attack Airfoil for Vertical Axis Wind Turbines", AIAA, Vol. 39, No. 9, pp. 1-4, 2001.

- 12. Huber A.F. and Mueller T.J. "The Effect of Trip Wire Roughness on the performance of the Wortmann FX 63-137 Airfoil at low Reynolds Numbers", Experiments in Fluids, Vol. 5, No.4, pp. 263-272, 1987.
- Khoshnevis A.B. "Experimental Study of Wake of an Airfoil Subjected to Curvature and Adverse Pressure Gradiant", 11 Annual Conf. Int. of mech. Eng. Mashhad, Iran, May 13-15, 2003.
- Salari M., Ardakani M.A. and Taghavi Zonnor R. "Experimental Study for Effect of Free Flow Temperature Changes and Hot Wire Anemometer on Sensors Calibration and Velocity Measurement", J. Mech. and Aero. Vol. 1, No. 3, pp. 49-59, 2005 (In Persian).
- 15. Ardakani M.A. "Hot Wire Anemometer", Publisher, Khagehnasir Toosi University, First Edition, pp. 96-97, 2006 (In Persian Book).
- Fox R. W. and McDonald, A. T. "Introduction to Fluid Mechanics", John Wiley & Sons, Inc., Fifth Ed., 1998.
- Roshko A. "Experiments on Oscillations of a Circular Cylinder In Uniform Flow", Tech. Rep. NPS-69SL 77071-R. Naval Postgraduate School, Monterey, CA, 1961.
- ShadAram A., Azimifard M., and Rostami N. "Experimental Study of Flow Characteristics in Near Wake of Square Cylinders", J. Mech. and Aero., Vol. 3, No. 4, pp. 13-23, 2007.