

ردیف چینی نازل روی توربین GE-F9 بر اساس بالانسینگ فلوی سوخت گازی و اثرات آن بر اسپرند دمایی

علی فضلی^۱، پرویز اسدی^۲، حامد باروتیها^۳، مجتبی مشایخی^۴

^۱ دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، a.fazli@eng.ikiu.ac.ir

^۲ دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، asadi@eng.ikiu.ac.ir

^۳ رئیس گروه مهندسی مکانیک، سیکل ترکیبی، نیروگاه شهید رجایی قزوین، h.barootiha@gmail.com

^۴ رئیس گروه تحقیقات و توسعه سیستم های مدیریتی، نیروگاه شهید رجایی قزوین، mojtaba.mashayekhi@gmail.com

چکیده

عملیاتی (نیروگاهها و...) یکی از دستگاہهای مناسب لندازهگیری، اریفیسمرها باشد ولی استفاده از آنها را نمیتوان بطور کلی در همه موارد تعمیم داد [1]. دقت اندازهگیری در مدیریت تولید برق و فروش از بالاترین اهمیت برخوردار است، چراکه در جهان کنونی همه چیز و هر کارکردی بر مبنای اقتصاد و سودآوری با ریزنگری بسیار بالا مد نظر می باشد.

اما در توربین ها علاوه بر اهمیت مصرف سوخت، مسائل تاثیرگذار فنی و طراحی نیز دخیل هستند [2]، نازل سوخت (شکل ۱ الف و ب) در یک توربین، سوخت مورد نیاز را جهت احتراق به داخل توربین هدایت می کند [3]. در یک توربین تعدادی نازل سوخت رسان نصب می شود به عنوان مثال در توربین های GE-F9 ۱۴ عدد نازل دور تا دور توربین نصب می گردد. این نازلها می بایستی به لحاظ حجم (دبی) سوخت رسانی با دقت بالایی با یکدیگر همسان باشند [4]. علاوه بر این می بایستی زاویه پاشش سوخت و الگوی پاشش طبق استاندارد بوده تا محل تشکیل شعله در نازل های مختلف همسان بوده و مانع از نوسان در محور اصلی توربین و سایر اجزای داخلی توربین شود.

عدم بالانسینگ فلوی سوخت یا به عبارتی ردیف چینی مناسب نازل روی توربین سبب افزایش لرزش توربین، آسیب شدید به اجزای مختلف توربین، کاهش شدید بازه های زمانی تعمیرات اساسی^۱، کاهش راندمان، افزایش مصرف سوخت و افزایش قابل توجه آلودگی هوا خواهد شد [5]، [3].

جهت بالانسینگ فلوی سوخت در نازل ها پیشتر آنها را به خارج از کشور ارسال می کردند تا توسط دستگاہهای مخصوص و بر اساس استاندارد مورد آزمایش قرار گیرند. در کنار هزینه های هنگفتی که برای نیروگاهها تحمیل می شد، از زمان اعمال تحریم ها امکان ارسال و

در این مقاله، نازل های سوخت دوگانه سوز توربین GE-F9 با استفاده از دستگاہ طراحی و ساخته شده در شرکت پرداز کامه صنعت با همکاری نیروگاه شهید رجایی قزوین، مورد تست و اندازه گیری فلوی سوخت قرار گرفته و سپس توسط نرم افزار دستگاہ ردیف چینی شد. نتایج نشان می دهد با انتخاب یک ست ۱۴ تایی از میان ۳۰ نازل ارائه شده اولیه و سپس ردیف چینی توسط نرم افزار می توان اختلاف فلوی گاز مصرفی را تا ۲٪ و اسپرند دمایی را تا ۲۰ درجه سانتیگراد کاهش داد. اما در صورت استفاده از ۲ ست نازل از میان ۳۰ نازل ارائه شده میتوان اختلاف فلوی نازلها را تا ۶ و ۹٪ کاهش داد و در عوض بکمک نرم افزار ردیف چینی اسپرند دمایی را زیر ۲۸ درجه سانتیگراد حفظ نمود.

واژه های کلیدی

توربین گازی، GE-F9، بالانسینگ فلوی سوخت، ردیف چینی نازل، اسپرند دمایی.

۱- مقدمه

در بحث اندازه گیری جریان، دستگاہها و روشهای متعدد و بسیاری وجود دارند که بسته به فرآیند، خصوصیات سیال مورد استفاده، فشار و بخصوص دقت مورد نیاز، یکی از آنها را می توان جهت اندازه گیری استفاده نمود. ضمن اینکه برای انتخاب دستگاہهای اندازه گیری نمی توان نسخه های از قبل پیچیده شده را برای تمامی شرایط تجویز نمود. شرایط ویژه گاز پس از عبور از خطوط انتقال از نظر ذرات معلق موجود و آلودگیهای احتمالی بخصوص روغنها، گریسها به همراه محصولات خوردگی، همه و همه ایجاب مینماید که در انتخاب سیستم اندازه گیری برای هر شرایط، تفاوتی را قائل شد شاید در واحدهای

^۱ Overhaul

پس از استخراج نمودارهای فلوی گاز مصرفی، مقادیر آنها برای نازل‌های مختلف مورد مقایسه قرار گرفت. برخی از نازلها بدلیل خارج از رنج بودن فلوی مصرفی حذف شدند. سپس نازل‌های باقیمانده توسط نرم افزار دستگاه، ردیف چینی شدند تا برای بهبود بهره‌وری توربین، کاهش مصرف سوخت و آلودگی هوا، در موقعیت‌های مناسب روی توربین نصب شوند. پس از نصب نازلها روی توربین، اسپرد دمایی عنوان مهم ترین فاکتور خروجی مورد ارزیابی قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

جدول ۱ مقادیر فلوی گاز مصرفی را برای ۱۴ عدد از نازل‌های دوگانه سوز GE-F9 نشان می‌دهد که نمودار مقایسه ای آنها در شکل ۲ نشان داده شده است.

نمودار تغییرات دبی مصرفی در ۵ فشار ورودی مختلف برای ۱۴ نازل مطابق شکل ۲ ترسیم گردید. با افزایش فشار ورودی، مقدار فلوی اندازه گیری شده افزایش می‌یابد و با وجود اختلاف در فلوی گاز مصرفی نازل‌ها، شیب این افزایش تقریباً برای تمامی آنها یکسان است. تقریباً در تمام فشارها دو نازل ۹ و ۱۱ کمترین فلوی مصرفی و نازل‌های ۱ و ۲ بیشترین مصرف را دارند. بقیه نازل‌ها در محدوده مصرفی بین نازل‌های قبلی قرار دارند و بسیار بهم نزدیکند.

جدول ۱- مقادیر فلوی گاز مصرفی در فشارهای ورودی مختلف برای نازل‌های ۱۴ گانه سری اول.

نام نازل / میزان گاز مصرفی (Nm ³ /min)	فشار ورودی (mbar)				
	150	200	250	350	500
A1	1.55	1.82	2.08	2.52	3.13
A2	1.53	1.81	2.05	2.48	3.08
A3	1.55	1.82	2.07	2.52	3.10
A4	1.54	1.80	2.05	2.49	3.09
A5	1.61	1.89	2.15	2.62	3.24
A6	1.52	1.80	2.04	2.48	3.06
A7	1.53	1.80	2.04	2.49	3.09
A8	1.54	1.80	2.04	2.49	3.08
A9	1.51	1.78	2.01	2.46	3.03
A10	1.53	1.80	2.03	2.49	3.08
A11	1.52	1.79	2.02	2.47	3.05
A12	1.54	1.80	2.04	2.49	3.08
A13	1.53	1.80	2.04	2.51	3.11
A14	1.56	1.85	2.10	2.57	3.19
max	1.61	1.89	2.15	2.62	3.24
min	1.51	1.78	2.01	2.46	3.03
max % Deviation	6.49	6.25	6.66	6.34	6.87

تحويل مجدد نازل‌ها با مشکلات دوچندان روبه رو شده است. در حالی که با هزینه تنها یک دهم هزینه ارسال به کشورهای خارجی و پس از ۲ سال پژوهش، سامانه "اندازه گیری و بالانسینگ فلوی سوخت مایع و سوخت گاز در نازل توربین‌های GE-F9" در دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) به همکاری نیروگاه شهید رجایی قزوین، طراحی و ساخته شده است (شکل ۱ج).



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱: تصویر کلی از نازل‌های سوخت دوگانه برای توربین GE-F9 و (ب) تعدادی از نازل‌های سوخت دوگانه توربین GE-F9

۲- روش تحقیق

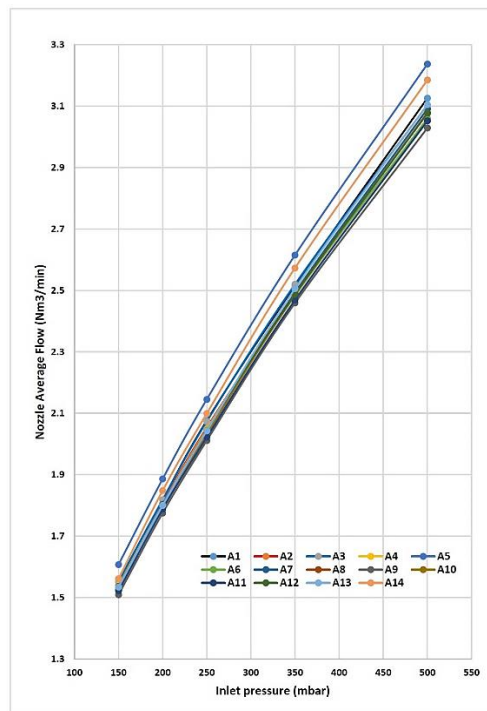
در این پژوهش نازل‌های سوخت توربین گازی GE-F9 به کمک دستگاه ساخته شده در شرکت دانش بنیان پرداد کامه صنعت با همکاری نیروگاه شهید رجایی قزوین مورد تست قرار گرفته و فلوی مصرفی آنها در فشارهای اولیه متفاوت مورد اندازه گیری قرار گرفت. فشار ورودی به ترتیب در مقادیر ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۵۰ و ۵۰۰ میلی بار تنظیم شده است و به تعداد ۴۴ نازل مورد تست و اندازه گیری قرار گرفتند. تعدادی از نازل‌های سوخت دوگانه توربین GE-F9 در شکل زیر نشان داده شده است. برای اطمینان از تکرار پذیری نتایج دستگاه ابتدا برای ۱۰ مورد از نازلها تست اندازه گیری فلو در تمامی فشارها ۳ بار انجام گرفت که خطای تکرار پذیری در بیشترین حالت ۰.۲۵٪ بوده است که نشان از دقت بسیار بالای دستگاه در اندازه گیری فلو و تکرار پذیری آن دارد.

در کیس حاضر، اگر دو نازل ۱ و ۲ که با اختلاف قابل توجه نسبت به بقیه بالاترین مصرف را دارند، از مجموعه حذف گردند اختلاف در مصرف سوخت به زیر ۳٪ و با حذف نازل ۹ اختلاف بقیه نازلها زیر ۲٪ خواهد بود.

بنابراین به نیروگاه محترم پیشنهاد گردید تعداد نازل‌های اولیه مورد تست بیش از ۱۴ عدد نهایی باشد یا اینکه ۲ و بلکه بیشتر ست نازل (یعنی ۲۸ یا ۴۲ یا بیشتر) مورد تست قرار گیرند و نزدیکترین نازلها بهم در یک ست قرار داده شوند.

جدول ۲- مقادیر فلوی گاز مصرفی در فشارهای ورودی مختلف برای نازل‌های ۳۰ تایی سری دوم

نام نازل / میزان مصرف گاز (Nm ³ /min)	فشار ورودی (mbar)				
	150	200	250	350	500
A1	1.63	1.89	2.00	2.42	2.90
A2	1.60	1.90	2.15	2.62	3.14
A3	1.61	1.90	2.18	2.65	3.18
A4	1.59	1.89	2.14	2.62	3.14
A5	1.58	1.83	2.08	2.53	3.04
A6	1.62	1.90	2.16	2.64	3.17
A7	1.64	1.94	2.18	2.67	3.20
A8	1.65	1.94	2.19	2.66	3.19
A9	1.62	1.91	2.16	2.66	3.19
A10	1.63	1.93	2.18	2.68	3.22
A11	1.54	1.83	2.06	2.52	3.02
A12	1.63	1.91	2.17	2.64	3.17
A13	1.65	1.95	2.21	2.69	3.23
A14	1.56	1.84	2.08	2.54	3.05
A15	1.63	1.91	2.16	2.63	3.16
A16	1.62	1.92	2.17	2.65	3.18
A17	1.56	1.83	2.09	2.56	3.07
A18	1.54	1.80	2.04	2.50	3.00
A19	1.73	2.04	2.31	2.84	3.41
A20	1.63	1.91	2.18	2.67	3.20
A21	1.70	2.00	2.26	2.77	3.32
A22	1.64	1.93	2.19	2.67	3.20
A23	1.65	1.94	2.20	2.69	3.23
A24	1.77	2.09	2.36	2.88	3.46
A25	1.56	1.84	2.08	2.54	3.05
A26	1.58	1.83	2.07	2.54	3.05
A27	1.55	1.82	2.07	2.50	3.00
A28	1.69	1.96	2.22	2.72	3.26
A29	1.61	1.90	2.15	2.63	3.16
max	1.94	2.09	2.26	2.88	3.46
min	1.54	1.65	2.00	2.42	3.00
max % Deviation	25.974	26.667	13	19.008	15.2



شکل ۲: نمودار مقایسه ای فلوی گاز مصرفی در فشارهای ورودی مختلف برای نازل‌های ۱۴ گانه سری اول.

همچنین مشاهده می شود که در یک فشار مورد تست میزان فلوی مصرفی نازل‌های مختلف بسیار بهم نزدیکند. به عنوان مثال در فشار ۲۰۰ میلی بار اختلاف دبی مصرفی نازل‌های مشخص شده با مستطیل قرمز تنها در حد چند هزارم متر مکعب در دقیقه باهم اختلاف دارند. بنابراین قابل انتظار خواهد بود که در ردیف چینی نهایی روی توربین موقعیت این نازلها ممکن است در فشارهای مختلف باهم متفاوت باشد زیرا به شدت نتایج نزدیک بهم دارند. بنابراین عملاً این نازلها به لحاظ مصرف سوخت یک هستند و جایجایی آنها در ردیف چینی اثر منفی بر توربین نخواهد داشت.

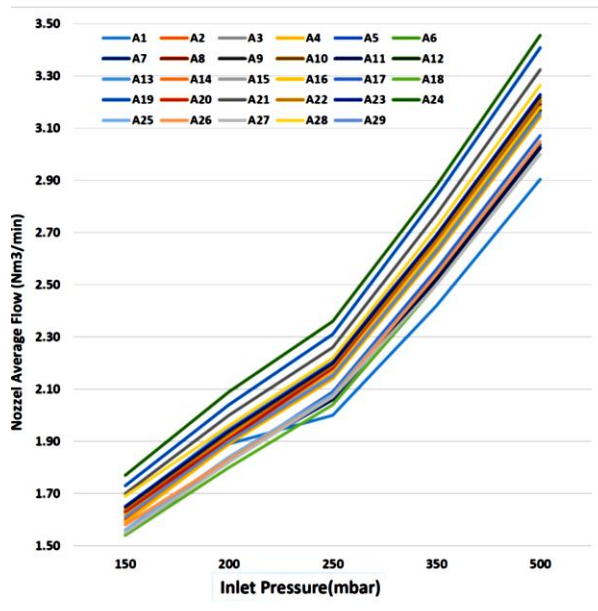
نکته قابل توجه این است که میزان اختلاف مصرف بین پرمصرف‌ترین و کم مصرف‌ترین نازل حدود ۶٪ است که این میزان تقریباً در تمامی فشارهای مورد تست یکسان بوده است (مستطیل سبزرنگ).

در سری اول ۱۴ نازل تحویل شده بود تا پس از تست و اندازه گیری، توسط نرم افزار ردیف چینی، بر روی توربین ۱۴ نازل بصورت متعادل قرار داده شوند. اگرچه با همین تعداد نازل نیز ردیف چینی انجام گرفته و نازلها طبق پیشنهاد نرم افزار ردیف چینی روی توربین نصب شدند و اسپرد دمایی از ۶۰ درجه سانتیگراد به ۴۰ درجه کاهش یافت که بیش از ۳۳٪ بهبود را نشان میدهد. اما نکته قابل توجه این است که با توجه به مقادیر جدول ۱، اختلاف ۶ درصدی در مصرف سوخت نازل‌های مختلف وجود دارد. این اختلاف از لحاظ استاندارد GE قابل قبول نبوده و نهایتاً باید اختلاف‌ها زیر ۲٪ باشد. برای این منظور می‌بایست نازلها مورد تست بیش از ۱۴ عدد باشند. به عنوان مثال ۲۰ عدد نازل مورد تست قرار گیرد و از بین آنها ۱۴ عدد با کمترین اختلافها بهم انتخاب گردند و سپس ردیف چینی شوند.

جدول ۳- مقادیر فلوی گاز مصرفی در فشارهای ورودی مختلف برای بهترین ست نازل ۱۴ تا ۳۰ نازل سری دوم.

نام نازل / میزان گاز مصرفی (Nm ³ /min)	فشار ورودی (mbar)				
	150	200	250	350	500
A2	1.60	1.90	2.15	2.62	3.14
A3	1.61	1.90	2.18	2.65	3.18
A6	1.62	1.90	2.16	2.64	3.17
A7	1.64	1.94	2.18	2.67	3.20
A8	1.65	1.94	2.19	2.66	3.19
A9	1.62	1.91	2.16	2.66	3.19
A10	1.63	1.93	2.18	2.68	3.22
A15	1.61	1.90	2.15	2.63	3.16
A17	1.63	1.91	2.17	2.64	3.17
A18	1.63	1.91	2.17	2.64	3.17
A20	1.63	1.91	2.16	2.63	3.16
A21	1.62	1.92	2.17	2.65	3.18
A25	1.63	1.91	2.18	2.67	3.20
A27	1.64	1.93	2.19	2.67	3.20
max	1.65	1.94	2.19	2.68	3.22
min	1.60	1.90	2.15	2.62	3.14
max % Deviation	3.12	2.11	1.86	2.29	2.29

در سری دوم نازل‌های مورد تست، به تعداد ۳۰ نازل برای آزمون اندازه‌گیری و بالانسینگ فلوی سوخت گازی و ردیف چینی یک ست نازل ۱۴ تا ۳۰ نازل ارسال گردید. مقادیر اندازه‌گیری شده فلوی سوخت در جدول ۲ و نمودار تغییرات فلوی سوخت در فشارهای مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است.

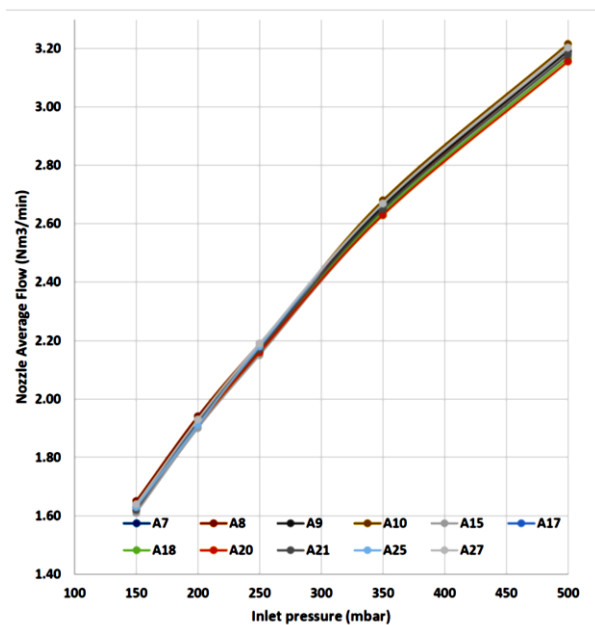


شکل ۳: نمودار مقایسه ای فلوی گاز مصرفی در فشارهای ورودی مختلف برای نازل‌های ۳۰ تا ۱۴ سری دوم.

همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود مقدار فلوی اندازه‌گیری شده برای نازل‌ها در فشارهای مختلف با یکدیگر تفاوت دارد و با توجه به جدول ۲ میزان این تفاوت در فشارهای ورودی مختلف بین ۱۵ تا ۲۷ درصد متفاوت است. اما با این وجود می‌توان نازل‌هایی با نزدیکترین فلو را انتخاب نمود بطوریکه اختلاف میزان فلوی اندازه‌گیری شده حدود ۲٪ باشد. یا اینکه با قبول درصد اختلاف بیشتر میتوان دو ست نازل از بین ۳۰ نازل ارائه شده انتخاب نمود بطوریکه کمترین انحراف ممکن را بین نازل‌های هر ست داشت و سپس ردیف چینی نازل‌ها را بر روی توربین انجام داد تا هر دو ست نازل قابل استفاده باشد.

خروجی نمودار منحنی‌های تغییرات فلوی مصرفی با تغییر فشار برای بهترین ست نازل ۱۴ تا ۳۰ نازل در شکل ۴ و مقادیر فلوی مصرفی و نیز درصد اختلاف آن در جدول ۳ آمده است. برای این ست انتخاب شده، اسپرند دمایی اندازه‌گیری شده حدود ۲۰ °C است که بهترین نتیجه حاصل را نشان می‌دهد.

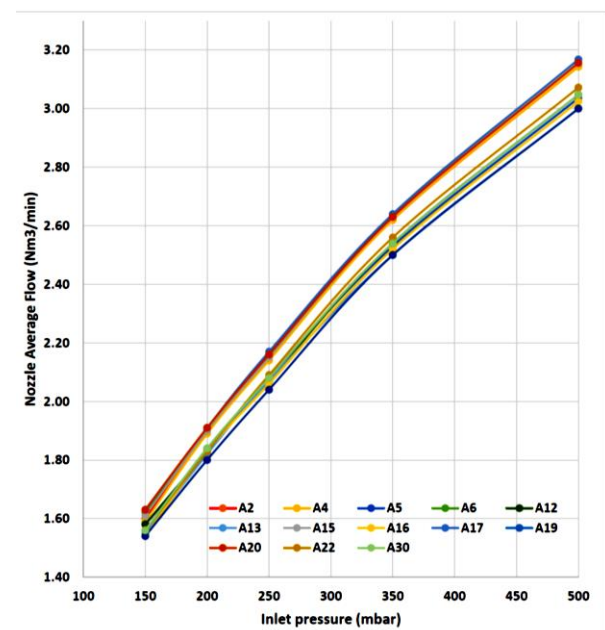
در صورتیکه از بین این ۳۰ نازل، دو ست نازل ۱۴ تا ۳۰ نازل استخراج گردد، در جداول ۴ و ۵ مقادیر فلوی مصرفی و اختلاف آنها و نیز در شکل‌های ۵ و ۶ منحنی تغییرات فلوی مصرفی برای دو ست نازل قابل مشاهده است. میزان اسپرند دمایی برای این دو ست نازل بر روی توربین بین ۲۵ تا ۲۸ °C بوده است.



شکل ۴: نمودار مقایسه ای فلوی گاز مصرفی در فشارهای ورودی مختلف برای بهترین ست نازل ۱۴ تا ۳۰ نازل سری دوم.

جدول ۴- مقادیر فلوی گاز مصرفی در فشارهای ورودی مختلف برای ست اول نازل ۱۴ تا ۳۰ نازل سری دوم.

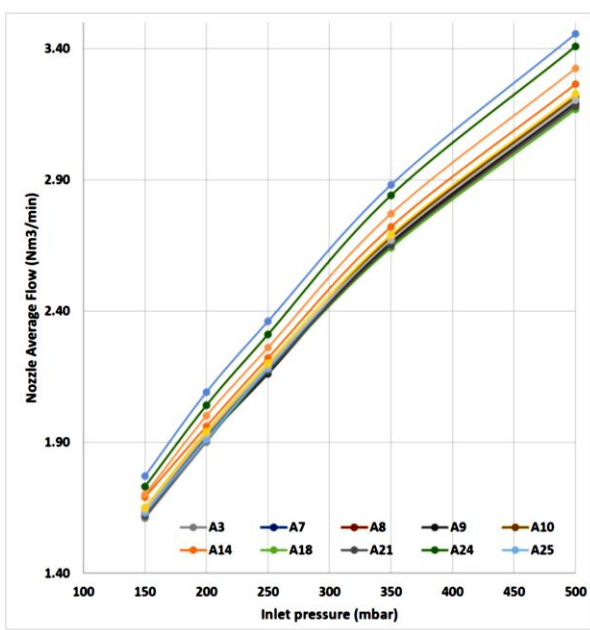
نام نازل / میزان گاز مصرفی (Nm ³ /min)	فشار ورودی (mbar)				
	150	200	250	350	500
A2	1.60	1.90	2.15	2.62	3.14
A4	1.59	1.89	2.14	2.62	3.14
A5	1.58	1.83	2.08	2.53	3.04
A6	1.62	1.90	2.16	2.64	3.17
A12	1.58	1.83	2.07	2.54	3.05
A13	1.55	1.82	2.07	2.50	3.00
A15	1.61	1.90	2.15	2.63	3.16
A16	1.54	1.83	2.06	2.52	3.02
A17	1.63	1.91	2.17	2.64	3.17
A19	1.56	1.84	2.08	2.54	3.05
A20	1.63	1.91	2.16	2.63	3.16
A22	1.56	1.83	2.09	2.56	3.07
A23	1.54	1.80	2.04	2.50	3.00
A30	1.56	1.84	2.08	2.54	3.05
max	1.63	1.91	2.17	2.64	3.17
min	1.54	1.80	2.04	2.50	3.00
max % Deviation	5.84	6.11	6.37	5.60	5.60



شکل ۵: نمودار مقایسه ای فلوی گاز مصرفی در فشارهای ورودی مختلف برای ست اول نازل ۱۴ تا ۳۰ نازل سری دوم.

جدول ۵- مقادیر فلوی گاز مصرفی در فشارهای ورودی مختلف برای ست دوم نازل ۱۴ تا ۳۰ نازل سری دوم.

نام نازل / میزان گاز مصرفی (Nm ³ /min)	فشار ورودی (mbar)				
	150	200	250	350	500
A3	1.61	1.90	2.18	2.65	3.18
A7	1.64	1.94	2.18	2.67	3.20
A8	1.65	1.94	2.19	2.66	3.19
A9	1.62	1.91	2.16	2.66	3.19
A10	1.63	1.93	2.18	2.68	3.22
A14	1.69	1.96	2.22	2.72	3.26
A18	1.63	1.91	2.17	2.64	3.17
A21	1.62	1.92	2.17	2.65	3.18
A24	1.73	2.04	2.31	2.84	3.41
A25	1.63	1.91	2.18	2.67	3.20
A26	1.70	2.00	2.26	2.77	3.32
A27	1.64	1.93	2.19	2.67	3.20
A28	1.65	1.94	2.20	2.69	3.23
A29	1.77	2.09	2.36	2.88	3.46
max	1.77	2.09	2.36	2.88	3.46
min	1.61	1.90	2.16	2.64	3.17
max % Deviation	9.94	10.00	9.26	9.09	9.09



شکل ۶: نمودار مقایسه ای فلوی گاز مصرفی در فشارهای ورودی مختلف برای ست دوم نازل ۱۴ تا ۳۰ نازل سری دوم.

این نکته قابل ذکر است که قبل از بکارگیری دستگاه اندازه گیری و بالانسینگ فلوی سوخت گازی در نازل توربین GE-F9 و اجرای ردیف چینی نازل با استفاده از نرم افزار ویژه دستگاه، نازل‌های A1 تا A14 برای یکی از واحدهای توربین و A15 تا A28 نیز برای واحد

- [1] J. M. Nouri, S. Mackenzie, C. Gaskell, and A. Dhunput, "Effect of viscosity, temperature and nozzle length-to-diameter ratio on internal flow and cavitation in a multi-hole injector," *Inst. Mech. Eng. - Fuel Syst. IC Engines*, pp. 265–278, 2012, doi: 10.1533/9780857096043.7.265.
- [2] M. Moshinsky, "No Title یلیب," *Nucl. Phys.*, 1959.
<https://www.grc.nasa.gov/www/BGH/nozzle.html>
- [3] M. P. Boyce, "Gas Turbine Performance Test," *Gas Turbine Eng. Handb.*, pp. 769–802, 2012, doi: 10.1016/b978-0-12-383842-1.00020-2.
- [4] D. Nedelcu, V. Cojocar, and R. C. Avasiloaie, "Numerical investigation of Nozzle jet flow in a pelton microturbine," *Machines*, vol. 9, no. 8, 2021, doi: 10.3390/machines9080158.
- [5] P. J. LaNasa and E. L. Upp, "Differential (Head) Meters," *Fluid Flow Meas.*, pp. 167–186, 2014, doi: 10.1016/b978-0-12-409524-3.00011-3.

دیگر مورد استفاده قرار می‌گرفت که با توجه به نمودارهای شکل ۳ و اطلاعات جدول ۲ اختلاف فلوی بیش از ۱۵٪ از یکسو و نیز عدم اجرای ردیف چینی از سوی دیگر منجر به اسپرد دمایی بالای ۵۰ °C درجه و بهره‌وری پایین توربین می‌شد.

۴- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این پژوهش، نازل‌های سوخت توربین GE-F9 نیروگاه شهید رجایی قزوین با استفاده از دستگاه طراحی و ساخته شده در شرکت پرداز کامه صنعت با همکاری این نیروگاه، مورد تست و اندازه‌گیری فلوی سوخت قرار گرفته و سپس توسط نرم افزار دستگاه ردیف چینی شد. نتایج نشان می‌دهد با انتخاب یک ست ۱۴ تایی از میان ۳۰ نازل ارائه شده اولیه و سپس ردیف چینی توسط نرم افزار می‌توان اختلاف فلوی گاز مصرفی را تا ۲٪ و اسپرد دمایی را تا ۲۰ درجه سانتیگراد کاهش داد. اما در صورت استفاده از ۲ ست نازل از میان ۳۰ نازل ارائه شده می‌توان اختلاف فلوی نازلها را تا ۶ و ۹٪ کاهش داد و در عوض بکمک نرم افزار ردیف چینی اسپرد دمایی را زیر ۲۸ درجه سانتیگراد حفظ نمود.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله مراتب تقدیر و تشکر نویسندگان از نیروگاه شهید رجایی قزوین برای همکاری در اجرای پروژه بعمل می‌آید.

مراجع و منابع