

تحلیل عددی خنک کاری لایه‌ای لبه‌ی جلویی پره توربین مدل توسط رهیافت DES و LES

فرزاد بازددیدی تهرانی^۱، سید مجید موسوی^۲، محمد جدیدی^۳، نیما بهلولی^۴

^۱استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، bazdid@iust.ac.ir

^۲دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، m_musavi@mecheng.iust.ac.ir

^۳دکتری مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، mohammad_jadidi@iust.ac.ir

^۴کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، nima_bohlooli@mecheng.iust.ac.ir

چکیده

در مقاله‌ی حاضر جریان آشفته خنک کاری لایه‌ای بر روی لبه‌ی جلویی پره توربین مدل توسط دو نگرش در مدل‌سازی جریان آشفته مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در نگرش اول از رهیافت شبیه‌سازی گردابه‌های جدا شده (DES^۱) بر پایه‌ی مدل SST-k ω و در نگرش دوم از رهیافت شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES^۲) استفاده می‌گردد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که رهیافت DES به دلیل ذات ترکیبی آن و استفاده از رهیافت RANS^۳ در نزدیکی دیواره نتوانسته پارامترهای نوسانی را در میدان جریان به خوبی رهیافت LES نشان دهد، اما در پیش‌بینی پارامترهای متوسط توانسته عملکرد خوبی از خود نشان دهد. همچنین رهیافت DES در نزدیکی سوراخ خنک کننده به دلیل کمتر پیش‌بینی کردن انرژی جنبشی و در نتیجه کاهش اختلاط جریان سرد و گرم، مقدار اثر بخشی آدیاباتیک بیشتری را نسبت به رهیافت LES و نتایج تجربی نشان داده است. علاوه بر این رهیافت DES در ناحیه‌ی دور از سوراخ خنک کننده به نظر می‌رسد به دلیل عدم پیش‌بینی درست ساختارهای منسجم، اثر بخشی آدیاباتیک کمتری را نسبت به رهیافت LES و نتایج تجربی نشان داده است. در مجموع رهیافت LES تطابق بهتری با نتایج آزمایشگاهی داشته است، اما با توجه به کاهش ۴۸.۵ درصدی زمان محاسبات در رهیافت DES نسبت به رهیافت LES، می‌توان انتظار داشت این رهیافت به عنوان مدلی کارآمد در پیش‌بینی پدیده‌ی خنک کاری لایه‌ای مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی

خنک کاری لایه‌ای، شبیه‌سازی گردابه‌های جدا شده (DES)، شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES)، ساختارهای منسجم

مقدمه

با توجه به سیکل ترمودینامیکی توربین گاز، یکی از راه‌های افزایش راندمان حرارتی، افزایش دمای ورودی توربین است. از طرفی این افزایش دما در ورودی توربین باعث آسیب رساندن به پره‌های توربین می‌شود. برای این منظور، برای ساخت پره‌های توربین از آلیاژهایی استفاده می‌شود که مقاومت حرارتی بالایی دارند، اما با توجه به محدودیت در ساخت موادی با مقاومت حرارتی بالا برای کمتر آسیب

دیدن پره‌های توربین از تکنیک خنک کاری استفاده می‌شود. خنک کاری لایه‌ای یک روش استاندارد است که برای پره‌های توربین به کار گرفته می‌شود. در این روش هوای خنک از سوراخ‌های کوچک بر روی دیواره‌ی پره تزریق می‌شود و لایه‌ی نازکی از هوای خنک روی دیواره تشکیل می‌شود تا از پره در برابر گازهای ورودی با دمای بالا محافظت کند [۱].

در زمینه جریان حول سوراخ خنک کننده کارهای تجربی و عددی گسترده‌ای انجام شده که در آن‌ها پارامترهای موثر در تکنیک خنک کاری لایه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. هر چند اکثر کارهای صورت گرفته در این زمینه روی هندسه‌ی صفحه تخت به دلیل سادگی آن بوده است اما توانسته درک خوبی از پدیده‌های مرتبط با تکنیک خنک کاری را ارائه دهد. اما هندسه لبه‌ی جلویی پره، جایی که بالاترین نرخ انتقال حرارت در کل ایرفویل اتفاق می‌افتد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۲] در زمینه‌ی خنک کاری لایه‌ای روی لبه‌ی جلویی پره کارهای بسیاری صورت گرفته که از آن می‌توان به کارهای تجربی مهندیل و هان^۴ (۱۹۹۲) [۳] و میک و میل^۵ (۱۹۹۸) [۴] که مطالعات قابل توجه‌ای را در زمینه‌ی اثرات نسبت دمش و نسبت چگالی روی اثربخشی خنک کاری در مدل شبه-استوانه‌ای لبه‌ی جلویی استوانه انجام داده‌اند اشاره کرد. همچنین، او^۶ و همکاران (۱۹۹۲) [۵]، اکاد^۷ و همکاران (۱۹۹۸) [۶] و جانسون^۸ و همکاران (۱۹۹۹) [۷] تحقیقات تجربی‌ای را در زمینه‌ی اثرات آشفتگی جریان ورودی اصلی در عملکرد خنک کاری لایه‌ای جهت مدل‌سازی لبه‌ی جلویی پره توربین انجام داده‌اند.

از آنجایی که جریان خنک کاری لایه‌ای یک پدیده‌ی آشفته است، روش‌های محاسباتی که برای آنالیز این جریان اتخاذ می‌شود عبارت‌اند از: شبیه‌سازی عددی مستقیم (DNS)، شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES)، شبیه‌سازی بر اساس متوسط گیری رینولدز معادلات ناویر-استوکس (RANS) و شبیه‌سازی گردابه‌های جدا شده (DES) که یکی از روش‌های ترکیبی شبیه‌سازی RANS و LES می‌باشد. در میان این روش‌ها، DNS و LES پتانسیل بالایی برای بدست آوردن نتایج واقعی‌تر دارند. از طرفی رهیافت RANS می‌تواند در مدت زمان

⁴ Mehendale and Han

⁵ Mick and Mayle

⁶ Ou

⁷ Ekkad

⁸ Johnston

¹ Detached Eddy Simulation

² Large Eddy Simulation

³ Reynolds Averaged Navier-Stokes