

# كتاب جامع محتواي همايش

بيست و يكمين

همايش سالانه بين المللی مهندسي مکانيک

۱۷ تا ۱۹ اردیبهشت ۱۳۹۲

دانشکده مهندسي مکانيک

دانشگاه صنعتي خواجه نصيرالدین طوسى تهران



گروه صنایع



دانشگاه صنعتي خواجه نصيرالدین طوسى



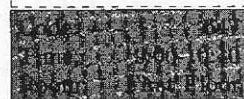
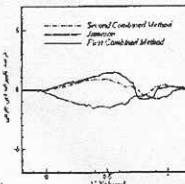
امان مهندسان مکانیک ایران

## ارائه مقالات پوستر مکانیک سیالات

بهینه‌سازی روش کاسپ با استفاده از روش معکوس جهت بهبود روش حجم محدود جیمسون در بعدی  
ادریس یوسفی‌زاده<sup>۱</sup>، محمد رضا میرکار<sup>۱</sup>، علیرضا تیمورتاش<sup>۱</sup>  
<sup>۱</sup>دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد



- نوازی این مقاله ابتدا بهبود روش حجم محدود جیمسون با استفاده از روش کاسپ در مدل‌سازی در بعدی جریان مافوق صوت بین پرهای ثابت توربین می‌باشد. (مدل تلفیقی اول)
- سپس با استفاده از روش معکوس لونبرگ مارکوارت برای اولین بار، بهینه‌ترین حالت تایپ کنترلی کاسپ با اهمیت دادن معادله بقا تعیین می‌گردد. (مدل تلفیقی دوم)
- در منطقه شوک سطح مکش پره در مقایسه با دو روش جیمسون ساده و تلفیقی اول، شرط بقا جرم را بهطور متوسط حدود ۱۵ درصد بهبود می‌بخشد.

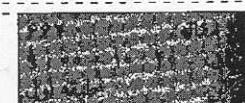


## Simulation of Forced Convection Heat Transfer in Solar Air Heater with Different Aspect Ratio

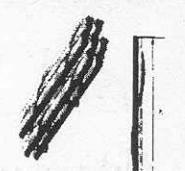
H. Khorasanzadeh<sup>1</sup>, M. Naderi Beni<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> University of Kashan

- The results of a numerical study on 2-D laminar forced convection in a flat-plate solar air heater are presented
- This study aims to establish the optimal performance parameters for the maximum efficiency during the collection of solar energy
- The results have shown that for a constant mass flow rate, with increasing heat flux the efficiency of collector increases
- Increasing the aspect ratio (increases the area of the absorber plate), the efficiency decreases.

بررسی عددی اثر مغناطیسی کننده‌های واپر پیچشی بر جریان سیال موازی با دسته میله‌های گرم شونده  
مصطفور طالبی<sup>۱</sup>، رضا عبد الهی<sup>۱</sup>  
<sup>۱</sup> پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای



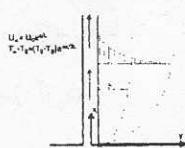
- بررسی اثر مغناطیسی کننده‌های واپر پیچشی بر جریان سیال در یک دسته میله گرم شونده
- بررسی اثر تغییرات عدد رینولدز بر جریان سیال روی میله‌های گرم شونده با مغناطیسی کننده‌های واپر پیچشی



بررسی انتقال حرارت جابجایی ترکیبی بین دو صفحه قائم تحت کشش در حضور میدان مغناطیسی  
محمد جواد خامی<sup>۱</sup>، مسعود ضیائی‌زاده<sup>۱</sup>، سید محمد رضا فریط‌پوش<sup>۱</sup>  
<sup>۱</sup> دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهرکرد



- بررسی جریان سیال و انتقال حرارت جابجایی اجباری و آزاد بین دو صفحه قائم تحت تاثیر میدان مغناطیسی
- تأثیر پارامترهای مختلف از جمله سرعت جریان، شدت میدان مغناطیسی، نیروی گرانشی و نرخ گسترش صفحه بر میدان جریان و دما



## Lattice Boltzmann Simulations of Flow around a Confined Elliptical Cylinder

M. Taeibi-Rahni<sup>1</sup>, V. Esfahanian<sup>2</sup>, M. Salari<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sharif University of Technology and Islamic Azad University, <sup>2</sup> University of Tehran, <sup>3</sup> Islamic Azad University, Tehran

- The 2D laminar flow past an elliptical cylinder confined in a channel is investigated numerically
- The Lattice Boltzmann method (LBM) is used to simulate this flow
- The simulations are carried out for different angles of incidence: in the range of Reynolds numbers for aspect ratios of  $AR=0.25, 0.5$ .
- The effects of those parameters on the drag and lift coefficients and other flow characteristics of the cylinder are examined in detail



## بهینه‌سازی روش کاسپ با استفاده از روش معکوس جهت بهبود روش حجم محدود جیمسون دو بعدی

ادریس یوسفی‌راد<sup>۱</sup>، محمد رضا مه پیکر<sup>۲</sup>، علیرضا تیمورتاش<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری، بخش مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، edris.yoosefifrad@gmail.com

<sup>۲</sup>استاد، بخش مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، mahpeymr@um.ac.ir

<sup>۳</sup>دانشیار، بخش مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، teymourtash@um.ac.ir

در حل عددی ابتدا معادلات دیفرانسیل با روش‌های مختلف به صورت انفصلی در آمد و بسطهای حاصل با تقریب خطاهای مناسب با برنامه‌های عددی محاسبه می‌گردد. در طرح‌های تفاضل مرکزی می‌بایست تقریب مناسب از جملات حذف شده در هنگام انفصل به معادلات افزوده گردد تا از نوسانات ناخواسته جلوگیری نماید که به آنها اتفاقات مصنوعی گویند. در زمانی که پدیده شوک اتفاق میافتد مناسب است از دقت مرتبه دوم به بالا برای محدوده حل در نظر گرفته شود<sup>[۲]</sup>.

در سال ۱۹۸۰ به بعد تلاش‌های گسترده‌ای بر روی طرح‌های بالادست جریان صورت گرفت که به دو دسته روش‌های تجزیه بردار شار و روش‌های اختلاف بردار شار طبقه بندی گردید که جهت حل معادلات اوبلر بر اساس خاصیت انتشاری موج بنا شده است. نقطه مشترک در این‌گونه روش‌ها، در رابطه بین جهت انتشار اطلاعات و جهت گستته نمودن معادله دیفرانسیل نهفته بوده و یا به عبارت دیگر جهت گستته نمودن معادلات دیفرانسیل و گرفتن اطلاعات هماهنگ با رفتار جریان غیر لزج می‌باشد<sup>[۳]</sup>.

در کار حاضر به بررسی طرح کاسپ دو بعدی که در بر گرفته از دو روش بالادست و تفاضل محدود می‌باشد پرداخته شده، که با بکارگیری آن در روش جیمسون در پره ثابت توربین بخار خشک یا تکفاز، بهبود قابل ملاحظه‌ای داشته است. لازم به ذکر است که این منطقه (بخش میانی سطح مکش پره به سمت انتهای پره) به علت وجود شوک آیرودینامیکی و در جریان دو فازی بخار، وجود شوک میان، مدل‌سازی جریان آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد<sup>[۳]</sup> که البته در تحقیق حاضر، جریان بصورت تکفاز بررسی شده است.

نواوری اول این تحقیق بهبود روش حجم محدود از طریق تلفیق روش کاسپ در روش حجم محدود جیمسون می‌باشد که می‌تواند با بهره‌گیری از مزایای روش معکوس لونبرگ‌مارکوارت، نتایج را بهبود خوبی بخشید. لازم به ذکر است که تاکنون روش‌های حجم محدود متعددی توسط محققین ارائه شده است که در این مقاله از روش عددی حجم محدود جیمسون خشک<sup>[۴]</sup> استفاده شده است که البته می‌تواند از هر روش عددی حجم محدود دیگری هم استفاده گردد.

نواوری دوم این تحقیق بکارگیری روش معکوس لونبرگ‌مارکوارت [۱] جهت بهبود حل و همچنین بهینه‌ترین حالت تابع کنترلی کاسپ با اهمیت دادن خطای معادله بقا جرم در میدان حل پره‌های توربین

### چکیده

با پیشرفت روش‌های مدل‌سازی عددی، روش‌های بالادست و تفاضل-مرکزی در مدل‌سازی جریان‌های مادون‌صوت و مافوق‌صوت در مسیرهای مختلف از جمله جریان‌های داخل پره‌های توربین، بکارگیری روش عددی کاسپ در روش حجم محدود جیمسون می‌تواند ویژگی‌های مثبت هر دو روش مذکور را هم‌zman استفاده نماید. نواوری این مقاله ابتدا بهبود روش حجم محدود جیمسون با استفاده از روش کاسپ در مدل‌سازی دو بعدی جریان مافوق‌صوت بین پره‌های ثابت توربین می‌باشد و سپس با استفاده از روش معکوس لونبرگ‌مارکوارت برای اولین بار، بهینه‌ترین حالت تابع کنترلی کاسپ با اهمیت دادن معادله بقا تعیین می‌گردد. با توجه به اهمیت ناحیه شوک‌ها در قسمت سطح مکش پره، تمرکز روش مذکور که منجر به بهبود قابل توجه نسبت فشار در روش حجم محدود جیمسون می‌شود به این ناحیه معطوف شده است. نتایج مدل تلفیقی اول<sup>۱</sup> (جیمسون و کاسپ)، در منطقه شوک سطح مکش پره در مقایسه با نتایج تجربی، انتباق بسیار مطلوبی بهمراه کاهش خطاهای عددی را در ناحیه مذکور نشان می‌دهد. همچنین نتایج مدل تلفیقی دوم<sup>۲</sup> (جیمسون، کاسپ و معکوس)، در منطقه شوک سطح مکش پره در مقایسه با دو روش جیمسون ساده و تلفیقی اول، شرط بقا جرم را بطور متوسط حدود ۱۵ درصد بهبود می‌بخشد.

### واژه‌های کلیدی

روش‌های بالادست، کاسپ، روش معکوس لونبرگ‌مارکوارت، جیمسون، پره ثابت توربین

### مقدمه

با توجه به اهمیت توربین‌های کم‌فشار در نیروگاه‌های بخاری، طراحی بهتر این تجهیزات می‌تواند باعث افزایش راندمان آنها شود. برای مدل‌سازی این جریانها معمولاً از روش عددی حجم محدود<sup>[۱]</sup> استفاده می‌شود. بدست آوردن یک روش دقیق عددی برای گرفتن شوک و ناپیوستگی‌های جریان که دارای حداقل اتلاف و نوسان باشد را شاید بتوان آخرین چالش در علم دینامیک محاسبات عددی<sup>۳</sup> دانست.

<sup>۱</sup> First Combined Method

<sup>۲</sup> Second Combined Method

<sup>۳</sup> CFD

در این روش ابتدا ناحیه مورد نظر به تعدادی حجم محدود تقسیم و سپس از فرم بقایی معادلات حاکم بر روی هر حجم محدود با استفاده از قضیه گرین<sup>7</sup> انتگرال گیری می شود. در حالت دو بعدی با استفاده از این قضیه می توان انتگرال روی سطح هر سلول را به انتگرال روی مرزهای آن تبدیل نمود. بدین ترتیب کلیه مشتقات مکانی بسط داده شده و ترم مشتق زمانی به همان شکل اولیه نگه داشته می شود. با این کار یک دستگاه معادلات دیفرانسیل معمولی (O.D.E) به دست می آید که می توان آن را با استفاده از روش های کلاسیک حل نمود. واضح است که پس از انتگرال گیری از معادلات حاصله و پیش روی در زمان، پاسخ حالت دائم به دست خواهد آمد. در نواحی شوک نیز از ترم های اتلافی استفاده شده است [4]:

$$D_{ij}^4(W) = D_{xj}^4(W) + D_{yj}^4(W) \quad (4)$$

خصوص برای هر حجم محدود در نقاط گوشه ای و با زیر نویس  $\omega$  و  $\bar{\omega}$  مشخص می شوند. با توجه به دو بعدی بودن معادلات، انتگرال روی سطح المان  $\Omega$  انجام می شود. بنابراین در سیستم مختصات کارتزین داریم:

$$\iint_{\Omega} \frac{\partial W}{\partial t} d\Omega + \iint_{\Omega} \left( \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial y} - \frac{\partial R}{\partial x} - \frac{\partial S}{\partial y} \right) d\Omega = 0 \quad (5)$$

با استفاده از قضیه گرین و نیز تقریب زدن  $\partial W / \partial t$  با مقدار آن در حجم محدود و خارج نمودن آن از انتگرال می توان نوشت:

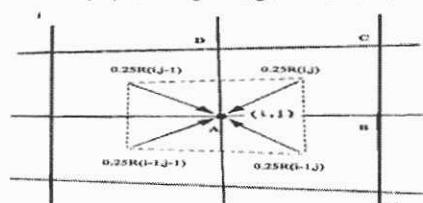
$$\frac{\partial W}{\partial t} = - \oint_{cell} (F dy - G dx - R dy + S dx) \quad (6)$$

رابطه برداری فوق نشان دهنده معادلات پیوستگی، ممتدوم در جهات  $x$  و  $y$  اندیزی می باشد و  $\Omega$  مساحت ثابت هر سلول است. جمله اول نشان دهنده میزان تغییرات خواص جریان نسبت به زمان در هر حجم محدود بوده و جمله دوم ترخ خالص شار عبوری خواص از وجوده حجم محدود را نشان می دهد.

پس از انتگرال گیری، می توان معادله بقاء به صورت زیر نوشت:

$$\left( \frac{\partial W}{\partial t} \right)_y = R_{ij}(W) \quad (7)$$

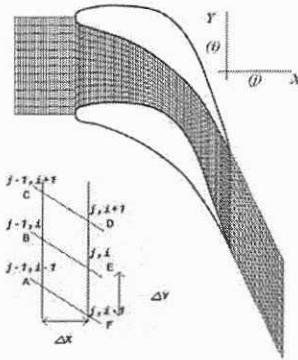
$R_{ij}(W)$  بیانگر باقیمانده ها است. باید تصریح نمود که تغییرات محاسبه شده برای  $W$  مربوط به کل سلول محاسباتی است، در حالی که متغیرهای جریان می باشند در نقاط کنترلی ذخیره گردند، بنابراین، تغییرات حاصله را به گوشه های سلول اختصاص داده ایم؛ این عمل با سادگی و با تقسیم باقیمانده بطور مساوی، بین نقاط چهارگانه A, B, C, D مطابق با شکل (2) انجام گرفته است.



شکل ۲: المانهای محاسباتی و نحوه توزیع باقیماندهها به نقاط شبکه

<sup>7</sup> Green Theorem

تعیین می گردد. روش تلفیقی پیشنهادی ابتکاری فوق با استفاده از شبکه محاسباتی ساده (شکل ۱)، می تواند علاوه بر مدلسازی جریان های تک فاز، برای جریان های پیچیده دوفازی نیز می تواند بکار گرفته شود. با توجه به پیچیدگی جریان های دو فازی و نتیجتاً حجم بالای محاسبات، هنوز استفاده از شبکه استاندارد یا ساده توصیه می گردد [1]، که برای تحقیق حاضر جریان بخار بصورت تک فاز بررسی شده است ولی هدف نهایی توسعه مدل پیشنهادی در جریان دوفازی بخار آب در تحقیقات آینده می باشد.



شکل ۱: شبکه استاندارد نوع H

#### طرح جیمسون

جیمسون همکاران [5] سال ۱۹۸۱ یک طرح چهار مرحله ای را برای افزایش راندمان روش های تایم مارچینگ و وابسته به حجم محدود ارائه نمودند. طرح مذکور معادل با انفصال مرکزی در فضا بوده و برای انتگرال گیری نسبت به زمان از روش چند مرحله ای رانج کوتا به صورت صریح و مستقل استفاده می کند. نظر به گستره سازی مکان و زمان به طور جداگانه، طرح مذکور بسیار انعطاف پذیر بوده و پاسخ های ماندگار از آن طریق، مستقل از اندازه گام های زمانی است، در این طرح برای آشکار سازی شوک ها به نحو مطلوب ترکیبی از ترم های اتلافی رسته دو و چهار به جملات شار افزوده شده اند. ضمناً لازم به یادآوری است که در طرح های اولیه جیمسون سه تکنیک برای تسریع همگرایی معرفی شده که عبارت از، گام زمانی محلی<sup>4</sup>، دمپ کننده آنتالپی<sup>5</sup> و متوسط گیری ضمنی از باقیمانده ها<sup>6</sup> است. معادلات بقاء جرم، ممتدوم و انرژی برای بخار غیرلزج و قابل تراکم در مختصات کارتزین دو بعدی به صورت زیر می باشد [4]:

$$\partial W / \partial t + \partial F / \partial x + \partial G / \partial y = 0 \quad (1)$$

$$W = \begin{vmatrix} \rho \\ \rho V_x \\ \rho V_y \\ \rho e_0 \end{vmatrix}, \quad F = \begin{vmatrix} \rho V_x \\ \rho V_x^2 + P \\ \rho V_x V_y \\ \rho V_x h \end{vmatrix}, \quad G = \begin{vmatrix} \rho V_y \\ \rho V_x V_y \\ \rho V_y^2 + P \\ \rho V_y h \end{vmatrix} \quad (2)$$

$$e_0 = e + \frac{V^2}{2} \quad (3)$$

در معادله فوق، بردار  $W$  شامل متغیرهای بقایی، بردارهای  $F, G$ ، بیانگر شارهای غیرلزج و  $e_0$  انرژی کل می باشد.

<sup>4</sup> Local time stepping

<sup>5</sup> Enthalpy damping

<sup>6</sup> Implicit Residual averaging

$$S(\bar{P}) = \bar{e}^T \bar{e}$$

(۱۴)

بنابراین، روش لون برگ‌مارکوارت با تغییر معادله به صورت زیر عمل می‌کند.

$$P^{k+1} = P^k + \left[ (X^k)^T X^k + \nu^k \Omega^k \right]^{-1} \left( X^k \right) T''' - T^c (P^k) \quad (۱۵)$$

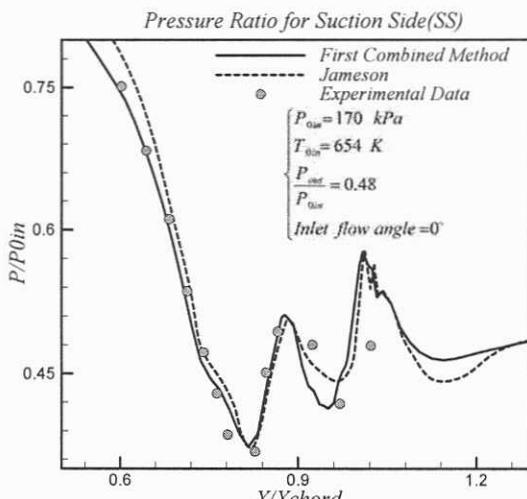
که  $\nu^k$ ، یک مقدار اسکالر است و پارامتر استهلاک نیز نامیده می‌شود و  $\Omega^k$  یک ماتریس قطری است که طبق رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\Omega^k = \text{diag} \left[ (X^k)^T X^k \right] \quad (۱۶)$$

معرفی  $\nu^k \Omega^k$  به معادله‌ی تکرار، به منظور مستهلاک کردن نوسانات و ناپایداری‌هایی است که به خاطر ماهیت بدхیم مسأله به وجود می‌آید [۱].

### نتایج

نتایج حاصل از بهبود روش عددی حجم محبوس جیمسون از طریق تلفیق با روش کاسپ (روش تلفیقی اول) و تاثیر روش معکوس (روش تلفیقی دوم) در شکل‌های (۳) تا (۶) ارائه شده است. شکل (۳) تغییرات نسبت فشار استاتیک به فشار سکون در طول پره بر سطوح مکش جریان نشان داده شده است. همانگونه که در شکل مذکور مشاهده می‌شود در منطقه هدف ( $X/X_{Chord} < 0.7$ ) که ناحیه حساس و پر اهمیت شوک‌ها روی سطح مکش می‌باشد و روش تلفیقی هم در آن ناحیه تمرکز یافته است، نتایج تئوری انطباق مطلوبی با نتایج آزمایشگاهی در مقایسه با روش اولیه جیمسون دارد. در جریان مورد نظر که آدیباتیک می‌باشد، مقدار فشار سکون تا قبل از شوک بایستی ثابت بماند. در شکل (۴) تغییرات فشار سکون نسبت به فشار سکون ابتدای پره ترسیم شده که هرچه این تغییرات کمتر باشد حل مسأله به واقعیت نزدیکتر است. از آن‌جا که در طرح پیشنهادی تغییرات فشار سکون کمتر بوده و نوسانات خطای محاسباتی در کل مسیر بطور نسی گرفته شده و نتایج حاصل از این روش به واقعیت نزدیک‌تر می‌باشد.



شکل ۳: تغییرات نسبت فشار استاتیک به فشار سکون سطح مکش پره

$$R_A(W) = 0.25 [R_{ij} + R_{i-1,j} + R_{i,j-1}] \quad (۸)$$

بدین ترتیب طرح حاصله در فضا متقاضی و منطقاً تقویت شده و معادله اندفال حاصله برای نقطه A بصورت زیر درآمده است:

$$\left( \frac{\partial W}{\partial t} \right)_A = R_A(W) \quad (۹)$$

همانطور که ملاحظه می‌شود این معادله به شکل یک دیفرانسیل بوده و با استفاده از روش‌های رایج قابل حل می‌باشد.

### طرح کاسپ

اساس این طرح، بر پایه جدا کردن جملات فشار در روابط شار جریان می‌باشد [۳]. در این طرح سعی شده است ضمن رسیدن به یک جواب قابل قبول از پیچیدگی محاسبات و زمان لازم کاسته شود. بردار شار همانطور که قبل گفته شد به دو جمله جابجایی شار و جمله فشار تجزیه می‌شود:

$$F_x = u w + F_{px} \quad (۱۰)$$

$$F_y = v w + F_{py} \quad (۱۱)$$

$$F_{yy} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ p \\ v.p \end{pmatrix} \quad F_{px} = \begin{pmatrix} 0 \\ p \\ 0 \\ u.p \end{pmatrix}$$

برای اینکه بتوان جواب دقیقتراز گرفت باید جملات اتفاق مصنوعی در نزدیکی موج‌های ضربه‌ای با مقدار بیشتر، و در مابقی میدان حل با مقدار کمتر وارد حل شوند. به این منظور یکتابع سوئیچ  $L(u,v)$  که قابلیت شناسایی جریان را دارد وارد محاسبات می‌شود [۳].

$$L(u,v) = \frac{1}{2} \left( 1 - \left| \frac{u-v}{|u|+|v|} \right|^q \right) (u+v) \quad (۱۲)$$

مقدار توان  $q$  انتخابی است و بین ۲ تا ۳ می‌باشد. در این تحقیق برای اولین بار جهت بهبود روش عددی دو بعدی جیمسون برای بخار خشک از روش فوق الذکر جهت توسعه کد استفاده و بهترین مقدار  $q$  به کمک روش معکوس با توجه به معادله بقا جرم محاسبه شده است.

### طرح معکوس

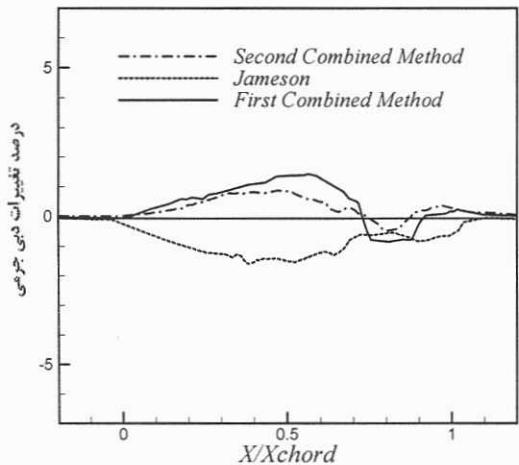
مسأله‌ی معکوس، یافتن پارامترهای مجھول با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده از فرآیند است (پیدا کردن معلوم از روی علت؛ اما معمولاً به علت وجود خطای در مقدار اندازه‌گیری و بدخیم بودن مسأله، نمی‌توان از حل مستقیم و دقیق مسأله برای پارامتر مجھول استفاده کرد؛ به همین لحاظ باید بتوان از رسیدن به پاسخ تعریضی مناسب ارائه کرد. در مسأله‌ی معکوس خطای، اختلاف بین خروجی اندازه‌گیری شده‌ی فرآیند،  $\tilde{T}'''$  و  $\tilde{T}^c$  مدل در محل

اندازه‌گیری،  $\tilde{T}^c$  تعریف می‌شود:

$$\tilde{e} = \tilde{T}''' - \tilde{T}^c \quad (۱۳)$$

برای کمینه کردن این خطای، روش‌های مختلفی برای تعریف تابع هدف وجود دارد. یکی از روش‌های معمول، استفاده از روش مربعات خطاهاست. در مسأله‌ی معکوس هدف کمینه کردن جمع مربعات می‌باشد. [۱]

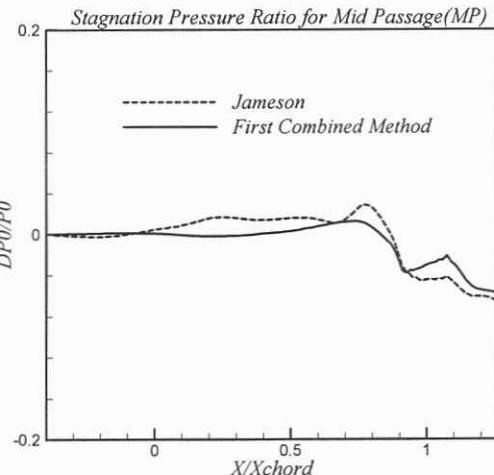
تحقیقات لازمه صورت پذیرد. البته با استفاده از این ایده جدید می‌توان از هر روش حجم محدود استفاده نمود. مقایسه نتایج مدل‌های پیشنهادی با نتایج آزمایشگاهی و همچنین نتایج جیمسون اولیه، نشان از اطباق مطلوب نتایج طرح جدید بویژه در منطقه هدف (ناواحی شوک روی سطح مکش پره) می‌باشد (شکل ۳) و همچنین شرط بقا جرم پوشش مناسبتری را کسب کرده است (شکل ۶). در منطقه دم پره نیز به علت پیچیدگی جریان در منطقه وجود شرایط مرزی پریودیک مقداری با نتایج تجربی فاصله دارد که جهت تمرکز در این منطقه می‌توان تغییراتی در کیفیت مش این مناطق ایجاد کرد که در تحقیقات حاضر خارج از موضوع این مقاله می‌باشد.



شکل ۶: تغییرات دبی جرمی جیمسون بهینه شده به کمک معکوس

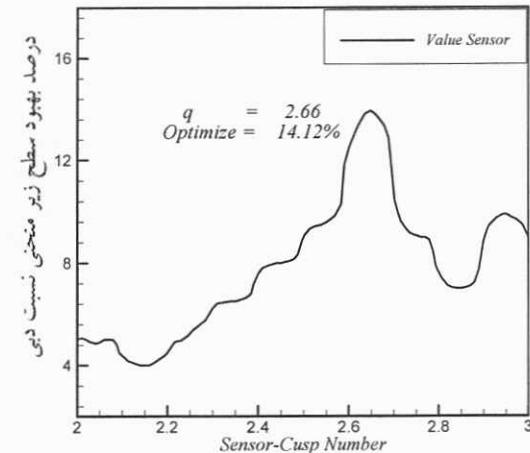
#### مراجع

- [۱] ادریس یوسفی راد، محمدرضا مهپیکر، ۲۰۱۰. "به کارگیری روش معکوس جهت تلفیق حل عددی دو بعدی، حجم محدود و تفاضل محدود بین پره های ثابت توربین"، مهندسی مکانیک ایران- Iranian Journal of Mechanical Engineering Transactions of the ISME, Volume (12), صفحه ۷-۲۵.
- [۲] Jameson A., Baker T.J. and Weatherill N.P. 1986 , "Calculation of Inviscid Transonic Flow over a Complex Aircraft", AIAA paper 86-0103,AIAA 24<sup>th</sup> Aerospace Sciences Meeting , Reno.
- [۳] ادریس یوسفی راد، محمدرضا مهپیکر، علیرضا تیمورتاش، ۲۰۱۳ به کارگیری روش کاسپ جهت بهینه شدن حل عددی دو بعدی در روش حجم محدود جیمسون بین پره های ثابت توربین، دوازدهمین کنفرانس انجمن هوافضای ایران، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- [۴] علیرضا تیمورتاش، محمدرضا مهپیکر، ۲۰۰۶. "تحلیل جریان گذر صوتی و غیرلزج بخار ضمن چگالش در پاساز تیغه های توربین به روش تایم مارچینگ جیمسون روی شبکه منطبق مرز" ، دانشکده مهندسی- دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۸)، صفحه ۱-۲۰.
- [۵] Jameson, A., 1995. "Analysis and design of Numerical Schemes for Gas Dynamics Artificial Diffusion, Upwind Biasing, Limiters and Their Effect on Accuracy and Multigrid Convergence", International Journal of Computational Fluid Dynamics, Vol. 4, pp. 171- 218.



شکل ۴: درصد تغییرات نسبت فشار سکون به فشار ورودی

در شرایط پایدار بقا جرم، باید میزان دبی جرمی ورودی در طول مسیر ثابت باشد. روش تلفیقی دوم با بدست آوردن بهترین عدد سنسور همگرایی کاسپ ( $q = 266$ )، شکل (۵)، کمترین تغییرات دبی جرمی نسبت به دبی جرمی ورودی، بهینه شده ۱۵ درصد را نسبت به دو روش جیمسون و تلفیقی اول در شکل (۶) نشان می‌دهد، که می‌توان از موفقیت جدید در بهتر ارضا شدن معادلات بقا جرم اطمینان حاصل نمود.



شکل ۵: تأثیر مقادیر  $q$  در معادله (۱۲) بر درصد تغییرات دبی

#### نتیجه گیری و جمع بندی

همانگونه که توضیح داده شد، ایده تلفیق دو روش حجم محدود و کاسپ (روش تلفیقی اول) می‌تواند روش حجم محدود جیمسون را بهینه خوبی دهد. در این تحقیق به منظور افزایش دقت نتایج این تحقیق، روش معکوس نیز برای بهینه شدن نتایج (روش تلفیقی دوم) در منطقه هدف بکار گرفته شده است. ضمناً با استفاده از روش معکوس، شرط بقا جرم بهینه چشمگیری داشته است. با توجه به ویژگی ها و کاربری گسترده روش های عددی حجم محدود که برای هندسه های پیچیده بمانند جریان های داخل توربین ها بکار گرفته می شود، لازم است که نسبت به بهینه این روش ها