

ارزیابی میدان سرعت و خط جریان تولید حباب‌ها در سلول الکتروشیمیایی باتری با کمک پردازش تصویر

محمد طاهریان^۱، سعید ناهیدی^{۲*}

^۱ دانشگاه تهران

^۲ دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان

دریافت: بهار ۹۹ پذیرش: بهار ۹۹

چکیده

یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که در علم سیالات وجود دارد سرعت و میدان جریان در حرکت سیالات است. محققان همواره سعی دارند سرعت سیال و شکل جریان آن را به روش‌های گوناگون برای کاربردهای مختلف ارائه دهند. در موارد زیادی سعی محققان استفاده از روش‌های عددی برای تعیین سرعت سیال است. هدف از اجرای این پروژه مشاهده میدان سرعت جریان سیال (الکترولیت) و تغییرات ویژگی‌های حباب‌های ناشی از واکنش شیمیایی بین کاتد و آند در سلول الکتروشیمیایی همه باتری‌های دارای الکترولیت شناور است. روش سرعت‌سنجی با تصویربرداری از ذرات نیز روشی نوری بدون مزاحمت است که تصویربرداری از جریان و اندازه‌گیری لحظه‌ای میدان سرعت را به‌طور هم‌زمان ممکن می‌سازد. در این روش، سرعت در صفحه‌های اندازه‌گیری می‌شود که موازی جهت جریان است، میدان اندازه‌گیری سرعت لحظه‌ای بسیار وسیع‌تر از سایر روش‌های اندازه‌گیری است و اطلاعات مفیدی دربار ساختار زمانی و مکانی جریان در اختیار قرار می‌دهد. در این پروژه در نهایت هدف دستیابی به کد نرم‌افزار متلب جهت سرعت‌سنجی ذرات و خط جریان سیال است. رویکرد اصلی برای الگوی جریان این سیال و میدان سرعت آن بر اساس روش همبستگی است. اعتبار سنجی صحت این کد نیز با کمک نرم‌افزار PIVlab مورد ارزیابی قرار گرفت.

* عهده‌دار مکاتبات: saeednahidi@yahoo.com

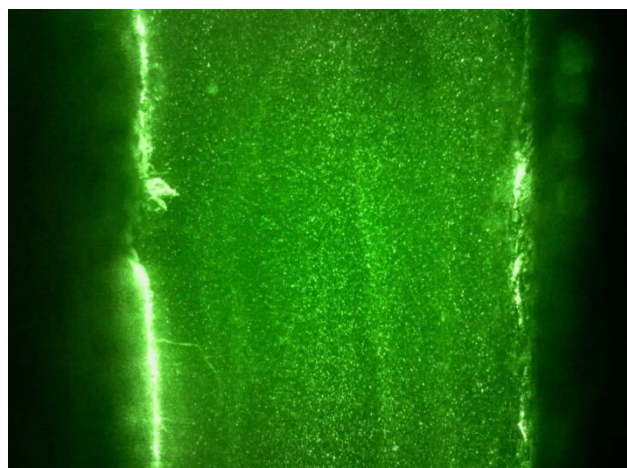
کلمات کلیدی: میدان سرعت، خط جریان، باتری، سرعت‌سنجی ذرات، PIVlab

۱- مقدمه

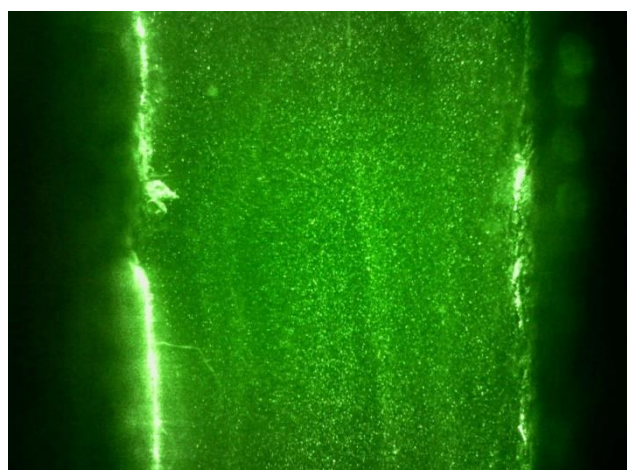
در روش سرعت‌سنجی تصویر ذرات در یک فاصله زمانی بسیار کوتاه مشخص دو عکس از میدان جریان در ناحیه موردنظر گرفته می‌شود که به آن یک رکورد گفته می‌شود؛ بنابراین هر رکورد شامل یک جفت تصویر است. برای به دست آوردن مقدار جابجایی محلی ذرات یک سری روش‌های آماری بکار برده می‌شود. بدین ترتیب هر عکس به نواحی مشخص به نواحی بازرسی یا پنجره‌های بازرسی تقسیم‌شده و متوسط حرکت ذرات ره‌گیری شده در آن ناحیه به‌عنوان جابجایی محلی سیال قلمداد می‌شود. متوسط جابجایی در نواحی بازرسی از همبسته نمودن تابع ناپویسته شدت نور در هر ناحیه بازرسی با جفت همان ناحیه در فریم همان رکورد انجام می‌شود. درواقع با قرار دادن فیلتر نوری ۵۳۲ نانومتری در مقابل لنز دوربین نه تنها از تراشه حساس به نور محافظت می‌شود بلکه با فراهم ساختن لکه‌های نورانی از ذرات در یک پس‌زمینه تاریک امکان دستیابی به تابع گسسته شدت نور در نواحی بازرسی به‌خوبی فراهم

می‌گردد. در گذشته چون دو تابع مجزای شدت نور وجود داشته و تصویر ذرات در هر لحظه ابتدایی و پایانی بر روی یک فریم ذخیره می‌گردید و هر تابع می‌بایست با خودش همبسته شده است، به آن همبسته یابی وابسته به خود می‌گفتند؛ اما امروزه با داشتن دو فریم جداگانه در هر رکورد دو تابع مجزا برای همبسته یابی خواهیم داشت؛ اما چنین فرایندی را امروزه همبسته یابی متقاطع می‌گویند. با به دست آمدن همبستگی در هر ناحیه بازرسی آنچه حاصل خواهد شد مقادیر همبسته ناحیه بازرسی موردبررسی در ناحیه اول با جفت آن در فریم دوم است. این مقادیر همبسته در محل خاصی یک ماکزیمم خواهند داشت که با مقدار جابجایی متوسط ذرات در آن ناحیه بازرسی ارتباط مشخص و معمولی دارد [۱].

تابع گسسته همبسته Φ از دو تابع شدت نور مذکور به‌صورت زیر تعریف می‌شود که در نوشتارهای متفاوتی از جمله مرجع [۲] و همچنین در راهنمای دستگاه سرعت‌سنجی تصویر ذرات این تعریف انجام گرفته است. در روند کلی استخراج سرعت از زوج فریم‌های یک رکورد، تصحیح‌های



شکل (۲): تصویر فریم اول



شکل (۳): تصویر فریم دوم در یک Δt

۳- نتایج طرح

۳-۱- بررسی اثر تغییرات پنجره جستجو مستقل از اندازه پنجره بازجویی

اندازه پنجره بازجویی را ۳۱ انتخاب کرده و مقادیر ۴۱، ۵۱ و ۷۱ و ۱۱۱ را برای پنجره جستجو فرض می‌شود. انتخاب مقدار پنجره بازجویی بر اساس سرعت حرکت سیال داخل جریان است. هرچه سرعت سیال بیشتر باشد اندازه پنجره بازجویی نیز بزرگتر انتخاب می‌گردد. در مواردی که جریان توربولنت است، کیفیت فیلم‌برداری برای تعیین سرعت‌سنجی بسیار مهم است.

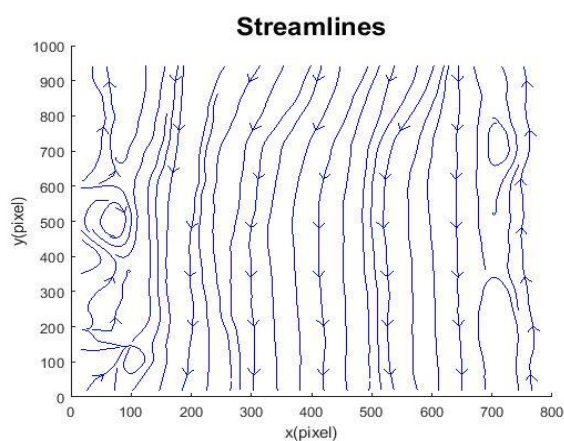
-پنجره بازجویی ۳۱، پنجره جستجو ۴۱:

با همه این تدابیر به دلیل ماهیت آماری بودن روندهایی که تاکنون به آن‌ها اشاره شد، بازهم در نتایج نهایی بردارهای جعلی* دیده می‌شود که خوشبختانه حذف یا جایگزینی آن‌ها از روی بردارهایی که در همسایگی آن‌ها هستند روند ساده و مشخصی دارد. گرچه که این روندها آن‌قدر پیچیده نیستند، اما به دلیل اثر نهایی آن‌ها در میدان سرعت بخصوص در مواردی که جایگزینی صورت می‌گیرد، چنین روندهایی بسیار حائز اهمیت هستند و در نحوه اعمال آن‌ها می‌بایست بسیار دقت کرد [۴]. یک همبستگی خوب، همبستگی است که در میدان سرعت به دست آمده کمترین تعداد سرعت‌های جعلی موجود باشد به طوری که به هیچ‌گونه تصحیحی نیاز نباشد.

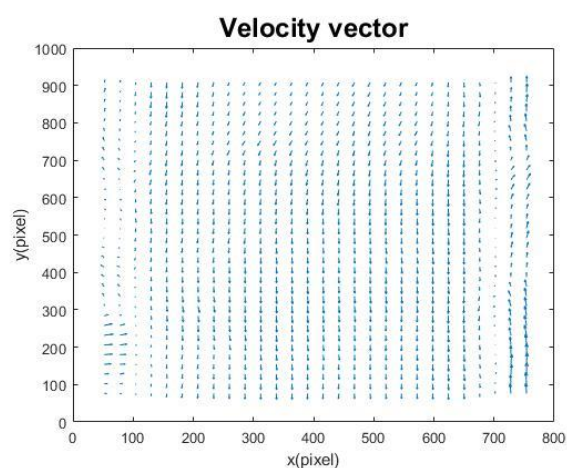
۲- روش تحقیق

برای انجام عملیات پردازش تصویر فریم‌ها، ابتدا ماتریسی تعریف می‌شود که بنابر فرض مجموعه‌ای از حباب‌ها را در بر گیرد. اندازه این ماتریس بسته به سرعت حرکت سیال، کیفیت دوربین فیلم‌برداری و... متغیر است. فرض می‌شود که اندازه این ماتریس 31×31 است بدین معنی که در ماتریسی مربعی به اندازه ۳۱ تعدادی حباب که با عدد اندازه شدت نوری تشکیل شده‌اند. به این ماتریس پنجره بازجویی گفته می‌شود. برای افزایش سرعت در عملیات، ماتریسی دیگری تعریف می‌گردد که در آن ماتریس بازجویی فریم اول برای تطابق در عکس دوم در محدوده مشخصی جستجو کند. به این ماتریس، پنجره جستجو گفته می‌شود. برای مثال اگر پنجره بازجویی، ماتریسی 31×31 تعریف گردد، اندازه پنجره جستجو می‌تواند 51×51 تعریف شود. پس از تعریف دو پنجره بازجویی و جستجو و انجام عملیات تطبیق بین دو فریم که با بیشینه کردن مقدار همبستگی همراه است به کمک معادله سهمی $R = ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + f$ درون زیر پیکسلی صورت می‌گیرد. پس از این مرحله به ویرایش بردارهای سرعت پرداخته می‌شود به صورتی که بردارهایی از میانگین بردارهای سرعت همسایه‌های مجاور ۱٪ بیش‌تر اختلاف دارند حذف شده و بردارهای میانگین جایگزین می‌گردد. در این پروژه به بررسی تاثیر اندازه پنجره بازجویی و جستجو در فریم‌های فیلم باتری پرداخته می‌شود و صحت نتایج آن با نرم‌افزار PIVlab ارزیابی می‌گردد [۵].

* Spurious vectors

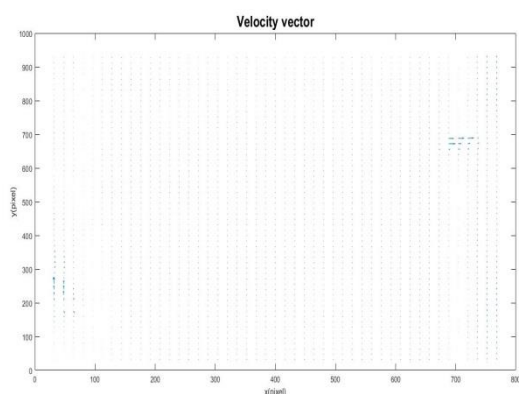


شکل (۷): خط جریان با پنجره بازجویی ۳۱، پنجره جستجو ۵۱

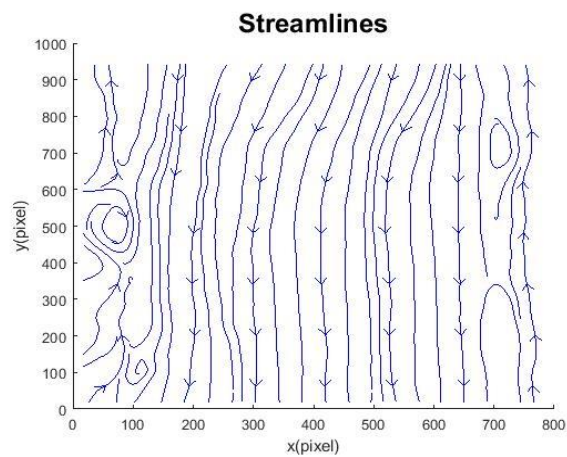


شکل (۴): میدان سرعت با پنجره بازجویی ۳۱، پنجره جستجو ۴۱

-پنجره بازجویی ۳۱، پنجره جستجو ۷۱:

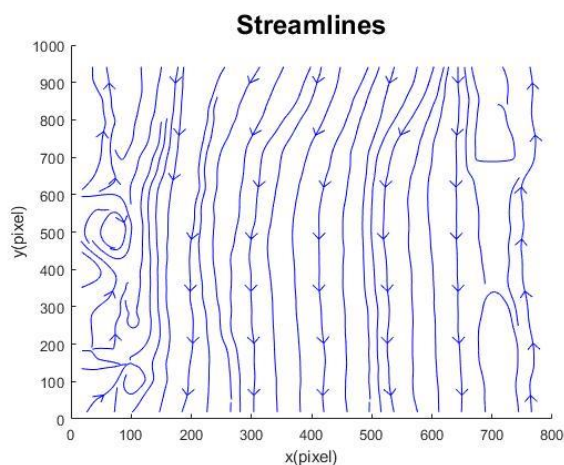


شکل (۸): میدان سرعت با پنجره بازجویی ۳۱، پنجره جستجو ۷۱

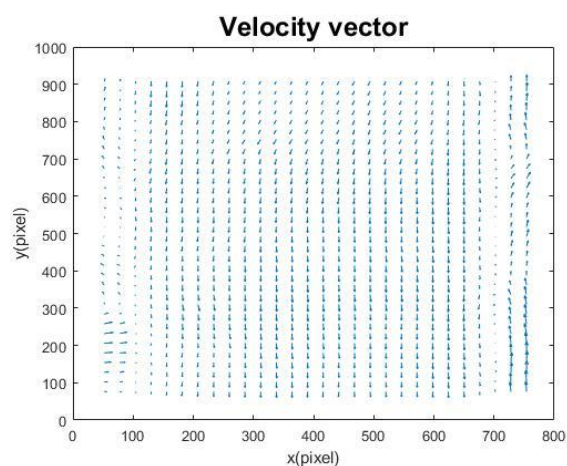


شکل (۵): خط جریان با پنجره بازجویی ۳۱، پنجره جستجو ۴۱

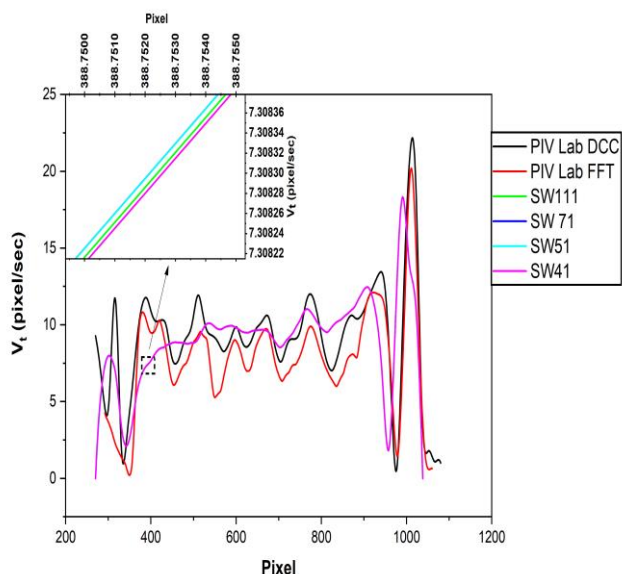
-پنجره بازجویی ۳۱، پنجره جستجو ۵۱:



شکل (۹): خط جریان با پنجره بازجویی ۳۱، پنجره جستجو ۷۱



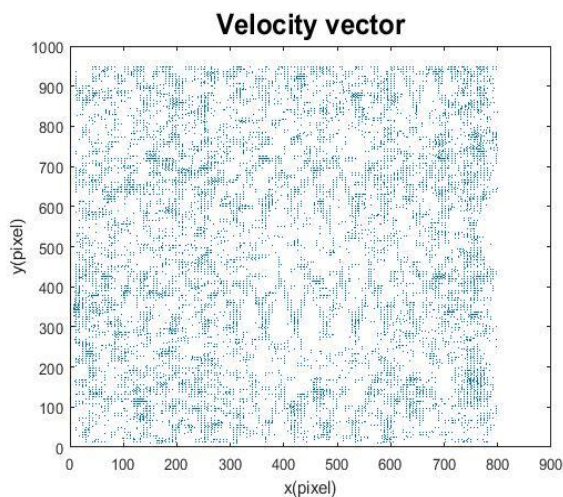
شکل (۶): میدان سرعت با پنجره بازجویی ۳۱، پنجره جستجو ۵۱



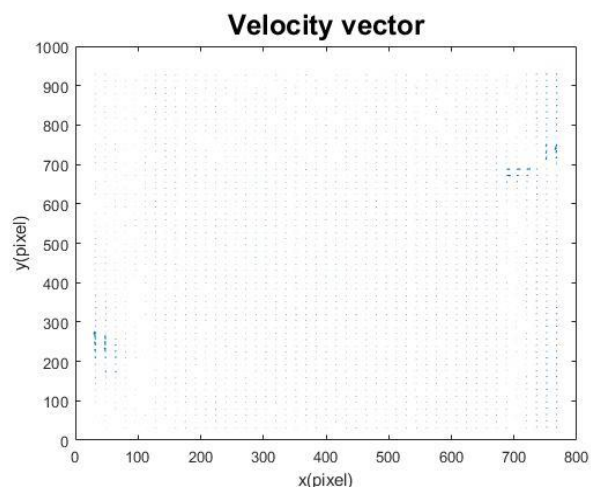
شکل (۱۲): مقایسه داده‌های PIVlab با کد استخراجی در حالت مستقل از اندازه پنجره بازجویی

۲-۳- بررسی اثر تغییر پنجره بازجویی مستقل از اندازه پنجره جستجو

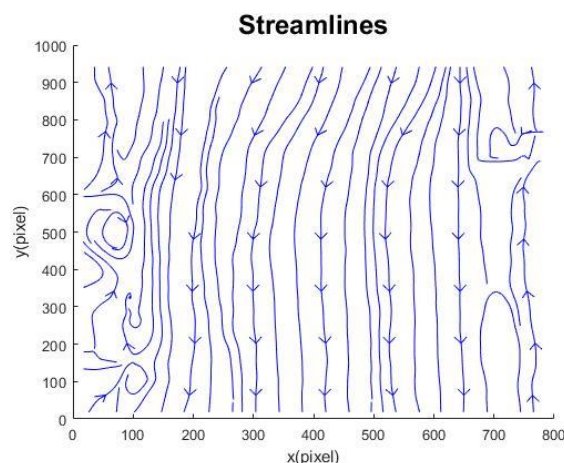
در این قسمت با در نظر گرفتن پنجره جستجو به اندازه ۴۱، مقادیر ۳۵، ۳۱، ۲۱، ۱۱ برای پنجره بازجویی انتخاب می‌شود.
- پنجره جستجو ۱۱، پنجره بازجویی ۴۱:



شکل (۱۳): میدان سرعت با پنجره بازجویی ۱۱، پنجره جستجو ۴۱

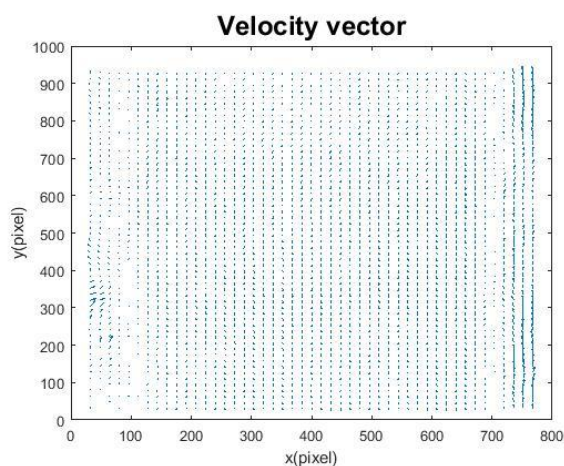


شکل (۱۰): میدان سرعت با پنجره بازجویی ۳۱، پنجره جستجو ۱۱۱

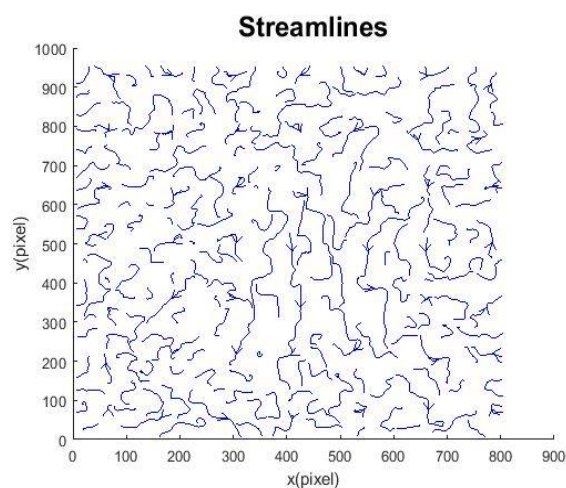


شکل (۱۱): خط جریان با پنجره بازجویی ۳۱، پنجره جستجو ۱۱۱

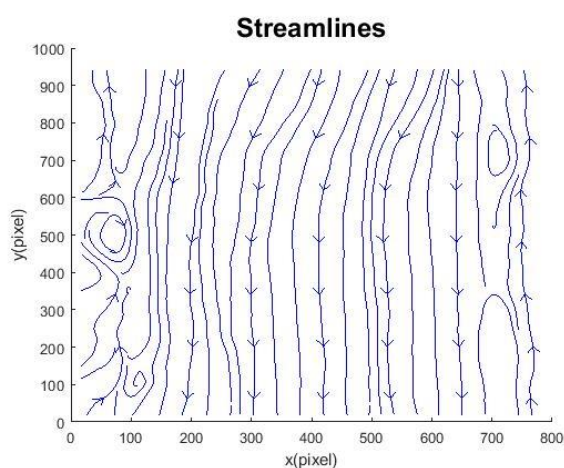
همان‌طور که در شکل (۱۰) نیز نشان داده شده است، اثر پنجره‌ی جستجو بر نتایج ناچیز است و در اینجا به خاطر پایین بودن سرعت جریان عملاً بی‌تأثیر است و تنها بر حجم محاسبات اثر خواهد گذاشت. البته اگر سرعت تزریق جریان زیاد باشد، حد پایین ابعاد پنجره‌ی جستجو عدد بزرگی خواهد بود. همچنین در صورتیکه اندازه پنجره بازجویی افزایش یابد تعداد بردارهای بیشتری به ازای پنجره بازجویی ثابت در پنجره جستجو ثبت می‌گردد که باعث کوچکتر شدن اندازه بردارهای سرعت می‌شود (شکل ۶ و شکل ۸). برای مثال در مقایسه اندازه پنجره جستجو ۵۱ با ۱۱۱، با افزایش اندازه پنجره جستجو تعداد بردارها در مساحتی مشخص افزایش می‌یابد در نتیجه ریزتر نشان داده می‌شود.



شکل (۱۷): میدان سرعت با پنجره بازجویی ۳۱، پنجره جستجو ۴۱

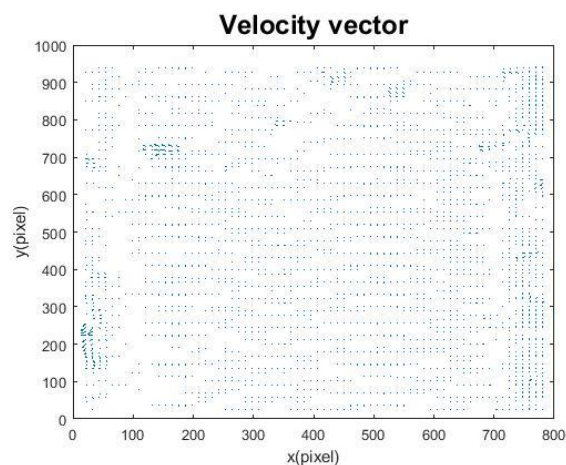


شکل (۱۴): خط جریان با پنجره بازجویی ۱۱، پنجره جستجو ۴۱

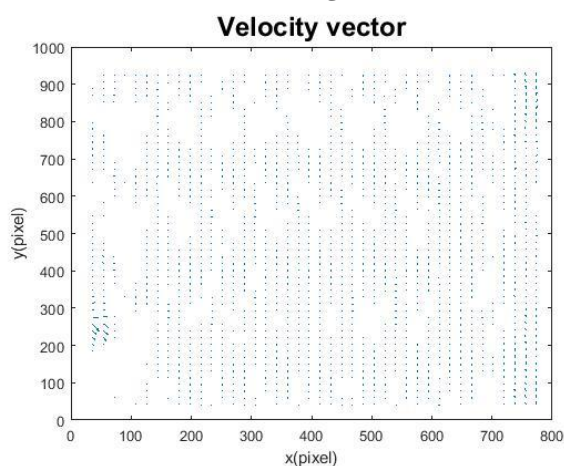


شکل (۱۸): خط جریان با پنجره بازجویی ۳۱، پنجره جستجو ۴۱

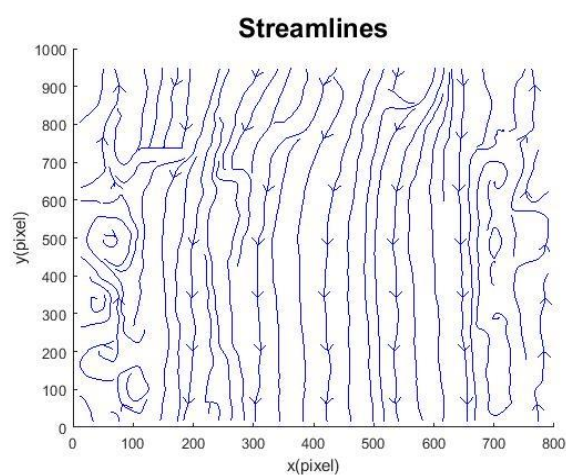
-پنجره جستجو ۳۵، پنجره بازجویی ۴۱:



شکل (۱۵): میدان سرعت با پنجره بازجویی ۲۱، پنجره جستجو ۴۱



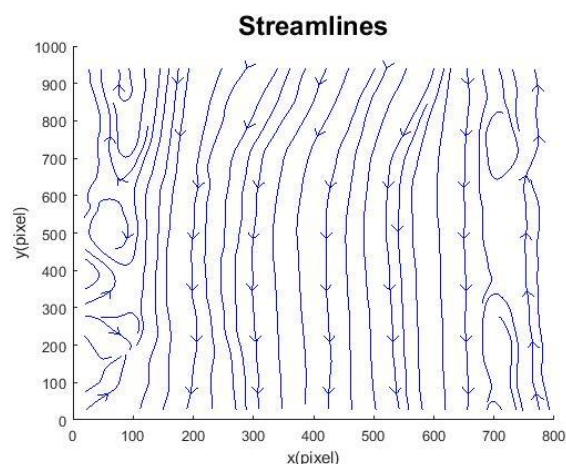
شکل (۱۹): میدان سرعت با پنجره بازجویی ۳۵، پنجره جستجو ۴۱



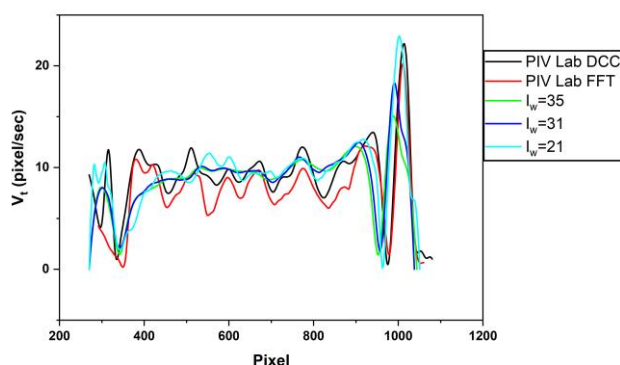
شکل (۱۶): خط جریان با پنجره بازجویی ۲۱، پنجره جستجو ۴۱

-پنجره جستجو ۳۱، پنجره بازجویی ۴۱:

- [4] J. Chen, and J. Katz, "Elimination of peak-locking error in PIV analysis using the correlation mapping method," *Measurement science and technology*, vol. 16, no. 8, pp. 1605, 2005.
- [5] https://pivlab.blogspot.com/p/blog-page_19.html.



شکل (۲۰): خط جریان با پنجره بازجویی ۳۵، پنجره جستجو ۴۱



شکل (۲۱): مقایسه داده‌های PIVlab با کد استخراجی در حالت مستقل از اندازه پنجره جستجو

روند تغییرات ابعاد پنجره بازجویی، بر نتایج قابل توجه است. همچنین هر چه ابعاد پنجره بازجویی کوچک‌تر باشد، تعداد بردارهای سرعت بیشتری به دست خواهیم آورد که این حالت مقدار بهینه‌ای دارد و لزوماً با کاهش اندازه پنجره بازجویی دقت اندازه‌گیری افزایش نمی‌یابد که نمود آن در نتایج حاصل با اندازه پنجره بازجویی ۱۱ و ۲۱ نشان داده شده است.

مراجع

- [1] M. Raffel, C. E. Willert, F. Scarano, C. J. Kähler, S. T. Wereley, and J. Kompenhans, *Particle image Velocimetry: a practical guide*: Springer, 2018.
- [2] U. Ullum, and P. S. Larsen, "Imaging techniques for planar velocity and concentration measurements," 1999.
- [3] J. Westerweel, D. Dabiri, and M. Gharib, "The effect of a discrete window offset on the accuracy of cross-correlation analysis of digital PIV recordings," *Experiments in fluids*, vol. 23, no. 1, pp. 20-28, 1997.