

بررسی هیدرولیکی جریان آب و هوا در مدل آزمایشگاهی مجرای تحت فشار به روش پردازش تصاویر

عبدالرضا کبیری سامانی^{۱*}، سید محمود برقی^۲، امیر حسین پیرقطاری^۳

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد

* اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان

akabiri@cc.iut.ac.ir

چکیده- جریانهای دو فازی (آب و هوا) در تونل‌ها و مجاری انتقال آب سبب بروز مشکلات سازه‌ای و هیدرولیکی می‌شوند. ایجاد فشارهای اضافه، ترکیدن ناگهانی حبابهای هوا، آزاد شدن انرژی و برخورد با دیواره مجرا، عامل اصلی وارد آمدن خسارت به این سیستمها است. جریانهای دو فازی به دلیل پیچیدگیهای ساختاری و رفتاری به عوامل متعددی وابسته‌اند که یکی از مهمترین آنها کسر فضای خالی است. در این تحقیق با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی و با پردازش تصاویر، کسر فضای خالی و برخی دیگر از پارامترهای تأثیرگذار بر جریان تعیین می‌شود. بدین منظور مشخصات هیدرولیکی جریان دوفازی لخته‌ای رخ داده در مجرای یک مدل آزمایشگاهی از طریق پردازش تصاویر توسط دو نرم افزار Photoshop و Matlab، محاسبه شده است. تصاویر توسط دو دوربین دیجیتال با کیفیت بالا جمع‌آوری و با ویرایش تصاویر با استفاده از برنامه‌های گرافیکی و محاسباتی، متغیرهای مورد نیاز محاسبه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، روش پردازش تصاویر را می‌توان به عنوان ابزاری با دقت بالا و هزینه کم برای پیش‌بینی مشخصات جریان دوفازی به کار برد. نتایج همچنین نشان می‌دهد که مشخصات موج لخته‌ای شامل طول، فرکانس و سرعت موج لخته‌ای تأثیر بسزایی در تغییرات کسر فضای خالی دارند. با افزایش نسبت دبی هوا به آب، فرکانس موج لخته‌ای و عدد فرود دوفازی، کسر فضای خالی به ترتیب افزایش، کاهش و کاهش می‌یابد. همچنین در فرکانس‌های بیشتر از حدود ۱۰ هرتز آهنگ تغییرات کسر فضای خالی کند می‌شود.

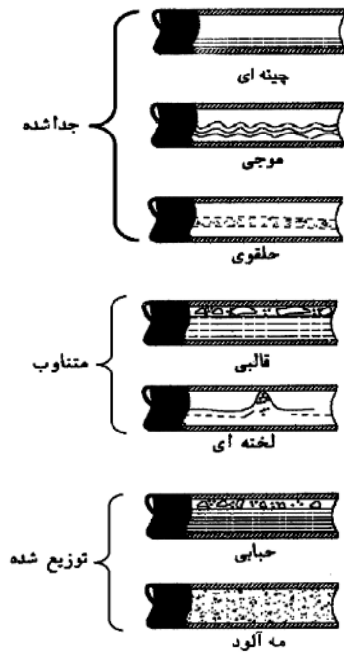
کلید واژگان: جریان دو فازی، آب و هوا، پردازش تصاویر، کسر فضای خالی.

۱- مقدمه

است. ورود همزمان آب و هوا به داخل مجرا یا تونل، به بروز مشکلات متعددی مانند ترکیدن حبابهای هوا و تغییرات شدید فشار در تأسیسات هیدرولیکی منجر

یکی از مسائل مهم در طراحی خطوط و تونلهای انتقال آب وقوع جریان دوفازی آب و هوا در شرایط خاص

فیلمبرداری و استفاده از رادیوگرافی با اشعه ایکس است. با تحلیل تصاویر گرفته شده می توان نوع جریان و خواص فیزیکی آن را تعیین کرد.



شکل ۱ انواع الگوهای جریان دو فازه در خطوط لوله افقی (Falvey, 1980)

در سال ۱۹۴۵، Alves جریان افقی هوا-آب و هوا - روغن را در لوله ای یک اینچی مطالعه و محدوده کاملی از الگوهای جریان را مشاهده و نقشه ای از الگوی جریان را بر مبنای اطلاعات به دست آمده ارائه کرد (Alves, 1954). Lockhart et al. (1949) بر مبنای داده های آزمایشگاهی نوعی سیستم گاز-مایع در لوله ای به قطر یک اینچ، روشی را برای محاسبه مقدار مایع تجمع یافته در مجرا ارائه کردند. Jones و Zuber در سال ۱۹۷۴ پرتوی اشعه ایکس بسیار قوی را از میان جریان گاز و مایع توسط عبور داده و نتایج را با استفاده از ردیاب تجزیه و تحلیل کردند (Jones et al. 1978). علائم خروجی از دستگاه

می شود (کبیری سامانی و همکاران، ۱۳۸۵) و (Kabiri-Samani et al., 2007). یکی دیگر از مشکلات ناشی از ورود هوا به درون جریان آب کاهش ظرفیت آبدهی سیستم است. لذا پیش بینی ویژگیهای جریانهای دو فازی و سازوکار رفتار دو فاز و اندرکنش آنها با یکدیگر بسیار حائز اهمیت است. مهمترین مشخصه جریانهای دو فازی کسر فضای خالی (نسبت حجم اشغال شده توسط فاز گازی به حجم کل) است. وجود دو سیال با خواص فیزیکی متفاوت، باعث شکل گیری تصادفی الگوهای مختلفی از جریان دو فازی می شود. الگوی جریان، چگونگی توزیع هر فاز جریان در مجرا در برابر فاز دیگر است. بررسی های متعددی در زمینه الگوهای جریان دو فازی درون خطوط لوله های افقی صورت گرفته است. به عنوان مهمترین الگوهای جریان دو فازی در مجاری افقی می توان به الگوهای جریان حبابی^۱، تویی یا قالبی^۲، چینه ای^۳، موجی^۴، لخته ای^۵، حلقوی^۶ و مه آلود^۷ اشاره کرد (شکل ۱). هنگامی که دو فاز آب و هوا بوده و در مجرای بسته جریان یابند، احتمال شکل گیری الگوهای جریان لخته ای، موجی و لایه ای بیشتر است (Falvey, 1980). با توجه به تنوع الگوهای جریان دو فازی و اختلاف در فصل مشترک این الگوها، رفتار هیدرولیکی این الگوها نیز با یکدیگر متفاوت بوده و لذا اولین گام در بررسی هیدرولیک جریانهای دو فازی، تعیین رژیم جریان است. یکی از روشهای معمول در پیش بینی الگوهای جریان دو فازی از روشهای مناسب برای شناسایی رژیم جریان دو فازی، عبور جریان از لوله ای شفاف و تصویربرداری سریع،

1. Bubble Flow
2. Plug (piston) Flow
3. Stratified Flow
4. Wavy Flow
5. Slug Flow
6. Annular Flow
7. Mist Flow

گسیلش پوزیترون^۴ و تشخیص تصویر برداری مافوق صوت گسترش پیدا کرد و در حقیقت استفاده از روشهای پیچیده و متنوع پردازش تصاویر، تصویربرداری رقومی را ممکن ساخت (المیریان، ۱۳۸۰).

امروز با گسترش روزافزون روشهای مختلف اخذ اطلاعات گسسته مانند پوشگرها و دوربینهای دیجیتال، پردازش تصویر کاربرد فراوانی یافته است. تصاویر حاصل از این اطلاعات، همواره کم و بیش با مقداری نویز همراه بوده و در مواردی نیز مشکل محوشدگی مرزهای نمونههای داخل تصویر را دارد که موجب کاهش وضوح تصویر دریافتی می شود.

مجموعه عملیات و روشهایی که به منظور کاهش عیوب و افزایش کیفیت ظاهری تصویر به کار می رود، پردازش تصویر نامیده می شود. اگرچه حوزههای کار با تصویر بسیار وسیع است، اما معمولاً محدوده مورد توجه در چهار زمینه بهبود کیفیت ظاهری^۵، بازسازی تصاویر مختل شده^۶، فشردگی و رمزگذاری تصویر^۷ و درک تصویر توسط ماشین^۸ متمرکز است. بهبود تصاویر شامل روشهایی مانند استفاده از فیلتر محوکننده و افزایش تضاد برای بهتر کردن کیفیت دیداری تصاویر و اطمینان از نمایش درست آنها در محیط مقصد است. پردازش تصویر از هر دو جنبه نظری و عملی پیشرفت‌های چشمگیری داشته و بسیاری از علوم به آن وابسته اند. رد پای پردازش تصویر در بسیاری از علوم و صنایع مشاهده می شود و بعضی از این کاربردها آنچنان به پردازش تصویر وابسته است که بدون آن، اساساً قابل تصور نیستند (المیریان، ۱۳۸۰؛ Jaw et al., 2000)

مشخص کننده مقدار گاز تجمع یافته در داخل جریان به صورت تابعی از زمان بود. در سال ۱۹۸۹، Bergles برای شناسایی انواع رژیمهای جریان از میله رسانا استفاده کرد (وطنی و همکاران، ۱۳۸۰). نوک میله هادی در داخل لوله جریان قرار گرفته و مقدار رسانایی بین نوک میله و دیواره لوله به صورت تابعی از زمان اندازه گیری شد. سپس نتایج با استفاده از اسیلوگراف به منظور شناسایی الگوهای جریان، مورد استفاده قرار گرفت. (Zhang et al. (2003 مدلی را برای بررسی پسماند سیال لخته‌ای و انتقال بین جریان لخته‌ای و جریان حبابی پراکنده ارائه کرد. این مدل که در سال ۲۰۰۲ به شکل جدیدی ارائه گردید و با داده‌های تجربی برای جریان لخته‌ای در شیبهای مختلف مقایسه شده است.

یکی از روشهای جدیدی که در سالهای اخیر در زمینه‌های مختلف علوم وارد شده و به وسیله آن می توان نتایج بسیار خوبی را از آزمایشهای پر هزینه با دقت بالا به دست آورد، استفاده از پردازش تصاویر است. در این روش با تصویربرداری از نمونه یا پدیده مورد نظر و تحلیل تصاویر، با حداقل هزینه می توان به نتایج بسیار مفیدی دست یافت. سابقه پردازش تصاویر به اوایل دهه ۱۹۶۰ میلادی باز می گردد.

در آن زمان سازمان هوا و فضای امریکا^۱ برنامه علوم قمری را در دستور کار داشت. در اواخر دهه ۱۹۶۰ میلادی کاربرد پردازش تصاویر برای تصاویر اشعه X به منظور تشخیص پزشکی آغاز شد و دامنه کاربرد این فناوری در فاصله سالهای ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ به پرتونگاری رایانه‌ای^۲، تصویر برداری مغناطیسی رزنانس^۳، پرتونگاری

4. Positron Emission Tomography (PET)
5. Enhancement
6. Restoration
7. Compression and Coding
8. Understanding

1. NASA
2. Computer Tomography
3. Magnetic Resonance Imaginery (MRI)

تحلیل نتایج از نرم‌افزارهای Matlab و Photoshop استفاده شده است. پس از تهیه تصاویر از جریان لخته‌ای توسط دو دوربین دیجیتال با دقت بالا، با ویرایش تصاویر و جداسازی یک موج کامل از تصویر، حجم فازهای مختلف توسط نرم‌افزار محاسبه شده و از آنجا متغیر کسر فضای خالی^۱ - که نقش تعیین کننده‌ای در طراحی خطوط انتقال آب دارد - تعیین می‌شود. با تحلیل نتایج حاصل از این بررسی می‌توان متغیرهای دیگری مانند سرعت، طول و فرکانس موج را تعیین کرد. در این بررسی به مقایسه دو نرم‌افزار و قابلیت‌های آنها و همچنین کارایی روش پردازش تصاویر در تحلیل مسائل پیچیده مربوط به جریان‌های دوفازی به خصوص جریان لخته‌ای پرداخته شده است.

۲- وسایل آزمایشگاهی و روش کار

همانطور که اشاره شد، در ارتباط با موضوع جریان دو فازی آب و هوا در سازه‌های هیدرولیکی نظیر تونل‌های تحت فشار، خطوط انتقال آب، آبگیرهای تحتانی، کالورت‌ها و فاضلاب‌روها مطالعات اندکی انجام شده و لذا طراحان ترجیح می‌دهند، شرایط را به نحوی اعمال کنند که سیستم هیچگاه در آستانه تشکیل جریان دو فازی قرار نگیرد. لذا عموماً سیستم به نحوی طراحی می‌شود که با ضریب اطمینان بالا، همیشه یا به صورت آزاد یا به صورت تحت فشار عمل کند. به همین دلیل بررسی این موضوع، مگر در موارد خاص، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی جریان دو فازی آب و هوا در نوعی مجرای بسته تحت فشار با استفاده از روش پردازش تصاویر به‌عنوان ابزاری برای تعیین مشخصات جریان پرداخته شده است. مدل آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق مطابق شکل ۲

در مکانیک سیالات و هیدرولیک نیز از پردازش تصاویر برای تعیین متغیرهای مختلف استفاده شده است. تعیین پارامترهایی که اندازه‌گیری آنها بسیار سخت و پرهزینه است، محققان را به استفاده از این روش ترغیب کرده است (Grant, 1999; Dalziel, 1993-2001). از میان کاربردهای این روش در مسائل نسبتاً پیچیده مکانیک سیالات و هیدرولیک جریان می‌توان به مطالعات Wu et al. (1991) در ارتباط با میدان سرعت جریان دوبعدی، Nastase et al. (2008) در زمینه مشخصات هیدرولیکی جریان جت، Mazumder et al. (2008) در ارتباط با فرسایش بستر بر اثر آشفتگی جریان و He et al. (2009) در زمینه مشخصات جریانهای سطحی در مخازن موج اشاره کرد. اگرچه پردازش تصاویر در زمینه‌های مختلف کاربرد داشته، اما در زمینه جریان‌های دو فازی آب و هوا بسیار محدود از آن استفاده شده است. بیشتر مطالعات موجود در زمینه مجاری با ابعاد کوچک، میکروکانال‌ها و مجاری انتقال نفت و گاز و محصولات پتروشیمی بوده است (Waelchli et al., 2005; Hemrlé et al., 2007).

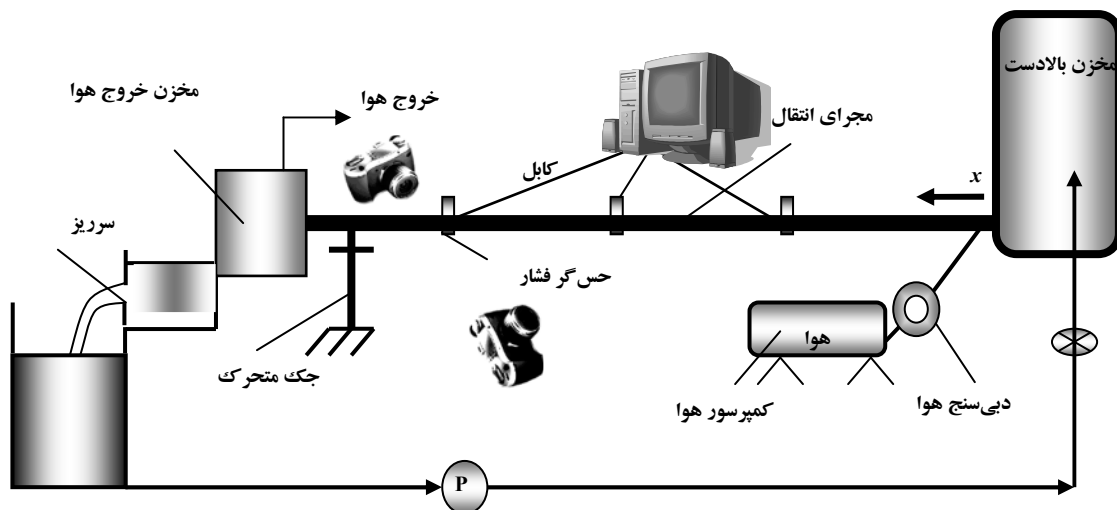
Dong et al. (2001) تحقیقاتی را درباره پردازش تصاویر در جریانهای دوفازی افقی ارائه کردند. یکی از روشهای کاربردی برای تشخیص رژیم‌های جریان دو فازی بر پرتونگاری مقطعی متکی است. در این روش با استفاده از سنسورهای حساس متصل به مجرا و انتقال اطلاعات به رایانه، تصویری فرضی از مقطع جریان ترسیم می‌شود. با استفاده از تصاویر تشکیل شده در زمانهای مختلف (با فاصله زمانی کم) می‌توان پخش فازهای مختلف در جریانهای دو فازی را به دقت بررسی کرد (Dong et al., 2001).

در این تحقیق با تحلیل تصاویر اخذ شده از مدل آزمایشگاهی، برخی از متغیرهای هیدرولیکی مهم جریان دوفازی آب و هوا از نوع لخته‌ای بررسی می‌شود. برای

1. Void Fraction

توسط روتامتر به جریان آب در مجرا وارد می‌شود. هوای خروجی مجرا پس از ورود به این مخزن در محفظه‌ای که در بالای مخزن نصب شده ذخیره و از مخزن خارج می‌شود. سایر اجزای مدل شامل مخزن ذخیره برای تأمین آب مورد نیاز، سرریز و مخزن سرریز برای اندازه‌گیری دبی آب، پمپ آب و کمپرسور هوا می‌شود. متغیرهای آزمایش مربوط به این تحقیق شامل؛ دبی هوا، دبی آب و طول موج، پریود موج و سطح مقطع آب و هوا می‌شود. برای برداشت اطلاعات مربوط به مشخصات موج لخته‌ای نظیر پریود و تعداد در واحد زمان از زمان‌سنج با دقت یک صدم ثانیه استفاده شد. برای برداشت اطلاعات مربوط به ارتفاع لخته و عمق آب در داخل مجرا و طول موج لخته‌ای با نصب خط‌کش و اشل بر روی لوله از عکسهای تهیه شده در جریان فیلمبرداری و عکسبرداری استفاده شده است. لازم است ذکر شود که یک طول موج لخته‌ای کامل، فاصله طولی بین پیشانی موج لخته‌ای تا پیشانی موج لخته‌ای بعدی است.

شامل مجرای اصلی انتقال آب با قطر داخلی ۹ سانتی‌متر و طول ۱۰ متر با جداره شفاف است. مدل مزبور در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شریف ساخته شده و ضمن انجام آزمایشهای خاصی در ارتباط با مشخصات هیدرولیکی جریان دو فاز آب و هوا، عکسها و فیلمهای متعددی از پدیده‌های رخ داده تهیه شده که مبنای مطالعه حاضر بوده است. مخزن بالادست به شکل مکعب مستطیلی بوده و در وسط یکی از دیوارهای آن در ارتفاع ۵ سانتی‌متری از کف سوراخی به قطر ۱۰ سانتی‌متر برای اتصال مجرا به مخزن تعبیه شده است. آب ورودی توسط سه سری صفحه مشبک آرام‌کننده کاملاً آرام شده و سپس به مجرا وارد می‌شود. مخزن پایین دست از جنس پلکسی گلاس شفاف بوده و در دیوار انتهایی آن دو شیر خروجی با قابلیت کنترل سطح آب قرار دارد. برای ایجاد امکان تشخیص دو فاز در روش پردازش تصاویر از پرمنگنات پتاسیم برای رنگین کردن آب استفاده شد. جریان هوا از طریق کمپرسور قابل تنظیم به روتامتر وارد شده و پس از تعیین دبی هوای ورودی



شکل ۲ طرحواره مدل آزمایشگاهی و تجهیزات اندازه‌گیری (Kabiri-Samani et al., 2007)

دوربین دیجیتال Sony DSC-P72؛ با حافظه ۱۶ مگابایت و قدرت نمایش ۳/۲ مگا پیکسل که در هنگام ضبط فیلم می‌تواند حداکثر ۳/۱ مگاپیکسل را ذخیره کند. قدرت بزرگنمایی لنز دوربین برابر ۳، ویژگی تصویر دوربین ۶/۶۷ میلی‌متر و کانون آن ۶ تا ۱۸ میلی‌متر است. این دوربین (۵۶۰×۲۲۰) نقطه (dot) و ۳۳۴۰۰۰۰ پیکسل داشته و تعداد پیکسل‌های مؤثر آن تقریباً برابر ۳۲۱۰۰۰۰ است.

دوربین دیجیتال Panasonic DMC-FZ2؛ با سرعت شاتر ۰/۵ تا ۸ ثانیه و لنز لیکا، که قدرت وضوح بالاتری در نمایش و ضبط تصاویر نسبت به دوربین قبل دارد. لنز این دوربین از نسل دوم لنزهای DC VARIO-ELMARIT و دارای کیفیت بسیار بالای تصویر بوده و توانایی ۱۲ برابر کردن تصویر را دارد. ابعاد تصویر این دوربین ۷۶۰۰۰ پیکسل بر اینچ می‌باشد.

۳- روش پردازش تصویر با نرم افزار Photoshop

با ذخیره‌سازی تصاویر و راه‌اندازی نرم افزار کار شروع می‌شود. در صورت نیاز با استفاده از گزینه "Crop tool" طرفین تصویر بریده و به اندازه دلخواه درآورده می‌شود. اگر قطع تصویر مورد تأیید بود، گزینه Crop را انتخاب کرده و در غیر اینصورت با انتخاب گزینه Cancel این کار تکرار می‌شود.

برای تعیین مقدار دبی هوا از روتامتر با حداقل و حداکثر دبی قابل اندازه‌گیری ۴۰ و ۴۰۰ لیتر در دقیقه و دقت ۱ لیتر در دقیقه استفاده شده است. برای تعیین دبی آب از سرریز لبه تیز مثلثی با زاویه رأس ۹۰ درجه و مانومتر با دقت ۰/۱ میلی‌متر استفاده شد. تراز آب در مخازن بالادست و پایین دست با استفاده از خط‌کش و اشل با دقت ۱ میلی‌متر تعیین شد. طول لخته با نصب خط‌کش و اشل بر روی لوله و فیلمبرداری تعیین شد.

تمامی تصاویر مورد استفاده با استفاده از کلیپ‌های تهیه شده که حداقل مدت زمان آنها ۵ دقیقه بوده تهیه شد. دوربین‌ها در راستای افقی نسبت به محور لوله استقرار یافته و فاصله‌ی افقی آنها از راستای مجرا، با سعی و خطا در هر مرحله از آزمایشها -به منظور پوشش دادن حداقل یک طول موج کامل- انتخاب شد. دوربین‌ها در حالت فیلمبرداری قابلیت برداشت ۳۵ فریم در هر ثانیه را داشتند. تصاویر مورد استفاده از تجزیه فیلمهای حاصل و تولید عکس توسط نرم‌افزار XingMPEG Player استخراج شده است. جدول ۱ محدوده تغییرات پارامترهای مختلف هیدرولیکی و هندسی مؤثر بر نتایج این تحقیق را نشان می‌دهد. در این جدول اعداد فرود و رینولدز مربوط به دو فاز است (Kabiri-Samani et al., 2007).

برای فیلم‌برداری از جریان عبوری از دو دوربین دیجیتال با مختصاتی به شرح زیر استفاده شده است:

جدول ۱ محدوده تغییرات پارامترهای مؤثر

تعداد آزمایشها	نسبت دبی هوا به دبی آب	عدد رینولدز دوفازی (Re)	عدد فرود دوفازی (Fr)
۲۲۵	۰/۰۴-۰/۴۵	۲۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰	۰/۱-۱

می‌شود. مثلاً برای قطعه دوم، زاویه سطح آب برابر $80/2^\circ$ و لذا مساحت فضای خالی برابر $24/95$ سانتی‌مترمربع است. با بررسی مساحت فضای خالی در هر مقطع با توجه به زاویه دیده شده، جدول ۲ به دست می‌آید. بر اساس اعداد به دست آمده در این جدول برای تصاویر مختلف، به راحتی می‌توان با قطعه‌بندی تصاویر، مساحت فضاهای خالی موجود در هر قطعه و سپس کسر فضای خالی را به دست آورد.

۴- پردازش تصاویر با نرم‌افزار Matlab

یکی از کاربردهای پردازش تصاویر تعیین کسر فضای خالی در مجرای انتقال آب با استفاده از نرم‌افزار Matlab است. ابتدا هر تصویر توسط تحلیل‌گرهای نرم‌افزاری، شناسایی شده و به صورت یک ماتریس در فایل work ذخیره می‌شود. بدین صورت که اگر تصویر ابعادی برابر 2000×1000 پیکسل داشته باشد، نرم‌افزار آن را به یک ماتریس 2000×1000 تبدیل کرده و بر روی هر یک از درایه‌های این ماتریس تغییرات خواسته شده را انجام می‌دهد. به علت محدودیت‌های تصویربرداری، در تصاویر برداشت شده اشکالاتی نظیر ناتراز بودن و همچنین وجود دستکها و کلاهی‌هایی که برای کنترل و نگهداری لوله از آنها استفاده شده، خطاهایی را ایجاد می‌کند، وجود باندهایی که برای تعیین و خواندن زاویه آب از آنها استفاده شده و انعکاس فلاش دوربین بر روی لوله در تمامی تصاویر که منجر به غیر قابل استفاده شدن برخی تصاویر می‌شود، وجود دارد.

برای مقایسه تصویر با ابعاد واقعی می‌توان به ترتیب زیر عمل کرد: در صفحه اصلی نرم‌افزار با انتخاب منوی Image و گزینه Image size پنجره‌ای باز می‌شود که در آن اطلاعات گوناگونی مانند اندازه تصویر، پهنا و ارتفاع آن به واحدهای گوناگون نمایش داده شده است. با استفاده از شاخصهای طولی که بر روی تصویر مورد نظر (مدل) نصب شده می‌توان ابعاد واقعی را با ابعاد تصویر مقایسه نمود. برای انتخاب بخشی از تصویر می‌توان از هر یک از ابزارهای انتخاب^۱ استفاده کرد. چون در بیشتر تصاویر تشابه زیادی بین نواحی مختلف وجود دارد، با انتخاب اولیه‌ای که برنامه از گزینه Tolerance (۹۰) در نظر می‌گیرد، فضای دلخواه انتخاب نمی‌شود. برای حل این مشکل باید Tolerance را بین اعداد ۲۵ تا ۴۵ انتخاب کرد تا فضای دلخواه انتخاب شود. در مدل رنگی RGB، که مانیتور از این مدل برای نمایش رنگها استفاده می‌کند، برای هر یک از رنگهای اصلی (قرمز، سبز، آبی) در هر پیکسل یک مقدار عددی از صفر تا ۲۵۵ اختصاص یافته است.

به‌عنوان مثال برای تعیین کسر فضای خالی در تصویر test33 که در آن دبی هوا $Q_a=180 \text{ lit/min}$ و دبی آب $Q_w=483.8 \text{ lit/min}$ بوده، تصویر به ۷ قطعه مجزا تقسیم می‌شود که در هر یک از قطعات ارتفاع خاصی از مقطع لوله را آب فرا گرفته و برای محاسبه فضای خالی در هر یک از قطعات به روش زیر عمل می‌شود. در مقاطع مختلف از راست به چپ، با توجه به شاخص‌های زاویه‌ای که بر روی لوله شفاف نصب شده، عمق آب با توجه به شاخص زاویه‌ای نصب شده روی لوله تعیین

جدول ۲ مساحت فضای خالی بر حسب زاویه رویت شده از شاخص

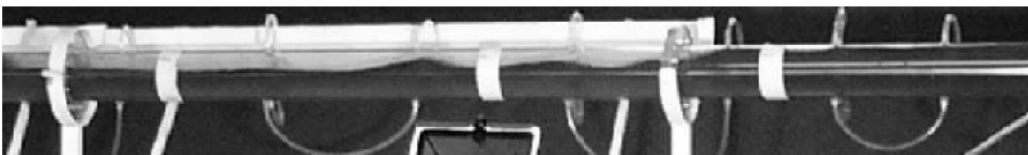
زاویه رویت شده از شاخص (درجه)	۲۲/۹	۳۴/۳	۴۵/۸	۵۷/۳	۶۸/۷	۸۰/۲	۹۱/۶
مساحت فضای خالی (cm^2)	۰/۸۰	۲/۶۸	۶/۰۴	۱۱/۰	۱۷/۴۶	۲۴/۹۵	۳۲/۱۰

طول تصویر از چپ به راست وجود دارد. در مرحله بعدی با تقسیم طول کل لوله (نرم افزار طول لوله را برابر ۱۰۵۹ تعیین کرده) بر ۲۴، تعداد ۲۴ ماتریس جدید ساخته شده که هر یک از آنها معرف شماره تصویر تکه شده از تصویر کل است (مثلاً $i=8$ ، تکه هشتم از تصویر کلی است). برای عمودی کردن کل تصویر در هر یک از ماتریسها با یک سطر بالا کشیدن سطرها (از ماتریس دوم باید این کار انجام شود) با تشکیل یک ماتریس جدید از به هم پیوستن ۲۴ ماتریس ویرایش شده، شکل تراز شده به دست می آید (شکل ج-۳). عملیات بعدی در تحلیل تصویر از بین بردن فلاشها و نوارهای گوناگونی است که به منظورهاى مختلف بر روی لوله نصب شده و در تصویر دیده می شوند (شکل د-۳).

برای تحلیل تصاویر ابتدا باید m-file جدیدی تشکیل شود تا بتوان از طریق آن، اعمال لازم را برای تعیین کسر فضای خالی (α) در هر تصویر انجام داد. در این مرحله ابتدا با معرفی تصویر توسط دستور imread، ماتریس تشکیل دهنده تصویر به وجود آمده (شکل ۳) و چون تحلیل فقط از طریق سیستم grayscale ممکن است، تصویر توسط دستور rgb2gray به حالت سیاه و سفید تبدیل می شود (شکل ب-۳). عملیات بعدی تعیین قطر لوله و افت یا خیز لوله در تصویر است (بررسی تراز بودن تصویر). برای این کار با سعی و خطا، محل دقیق لوله و ابعاد آن در ماتریس مشخص می شود. مثلاً در تصویر آزمایش ۱۹ (شکل ۳) با سعی و خطا مشخص شد که لوله قطری برابر ۷۷ سطر (پیکسل) داشته و ۲۴ سطر در



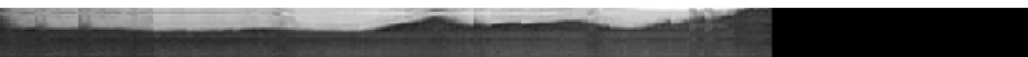
الف - تصویر اصلی



ب - تصویر Grayscale



ج - تصویر تراز شده



د - حذف فلاش و نوار از تصویر



ه - بهبوددهی تصویر

شکل ۳ تصاویر آزمایش ۱۹

می‌شود. برای این کار ابتدا ماتریس C به صورت کمیت double درآمده و با تعریف temp1 به عنوان $\max(C)$ درصد آب تعیین می‌شود. سپس با تعریف x به عنوان نمایشگر طول لوله در تصویر، منحنی مربوط به میزان آب موجود در لوله ترسیم می‌شود.

سپس برای تعیین α در شکل با معرفی ماتریس P به عنوان size و تعیین " $M \times \text{تعداد ستون} \times \text{تعداد سطر}$ " میزان کل هوای موجود در تصویر map شده تعیین و میزان کل هوای موجود در لوله یا همان V_a/V_t تعیین می‌شود. این α ، برای مقطع مستطیلی حاصل می‌شود و باید با روابط هندسی به مقطع دایره‌ای تبدیل شود.

۵- تحلیل نتایج

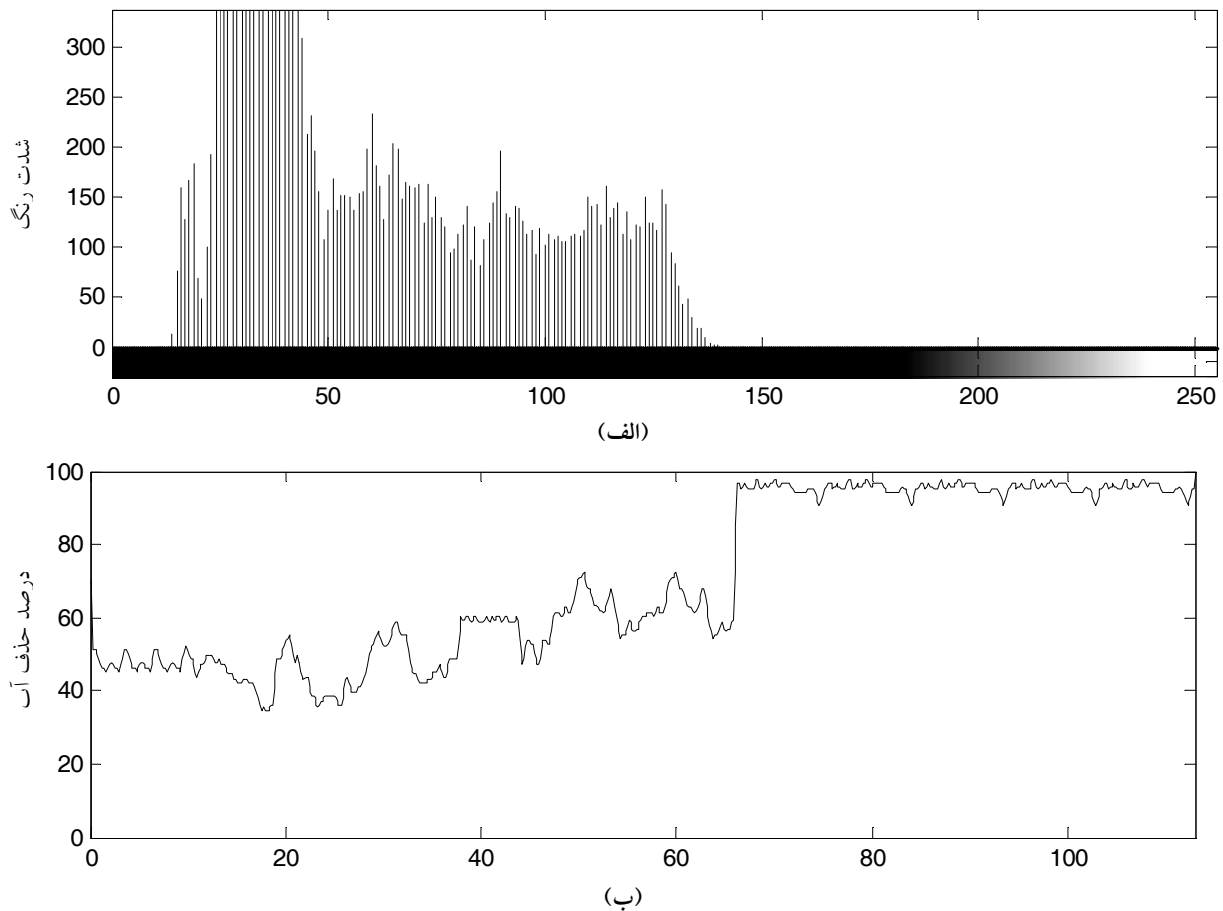
در این قسمت نتایج به دست آمده از تحلیل تصاویر مربوط به آزمایشهای انجام شده روی مدل آزمایشگاهی بررسی می‌شود. لازم است ذکر شود که در جدول‌ها و شکل‌های ارائه شده، f فرکانس موج به هر تری، T پریود موج بر حسب ثانیه، L طول موج بر حسب متر و $\alpha = V_a/V_t$ کسر فضای خالی موجود در هر موج کامل است. با بازیابی فیلم‌های تهیه شده در آزمایشهای گوناگون تعداد موج عبوری در هر ثانیه (f) و پریود یک موج کامل (T) قابل محاسبه است. استفاده از متغیرهای L/D و Q_a/Q_w برای بی‌بعدسازی پارامترها بوده است. عدد فرود موج (Fr) از رابطه $Fr = C/(Lg)^{0.5}$ به دست آمده که در آن C سرعت موج ($C=L/T$) به متر بر ثانیه است. در ادامه نتایج نمونه‌ای از این بررسیها ارائه می‌شود (جدول ۳). در این حالت کسر فضای خالی برابر $0/24$ بوده است.

برای این کار با تشکیل ماتریسهای مشابه و جایگزین در حالتی که مشابه وضعیت جریان در محدود مورد نظر باشد و قرار دادن ماتریسهای حاصل در نقاط مورد نظر، شکل مطلوب حاصل می‌شود. در مرحله بعدی برای تعیین دقیق و مشخص نقاط با خواص مختلف از دستور Imadjust ، شکل بهبود داده می‌شود (شکل ۳). در این حالت با تقویت شدت رنگ \max و \min ، موجود در درایه‌های ماتریس کل، وضعیت میزان آب و هوای موجود برای کل تصویر تعریف می‌شود. سپس با استفاده از دستورات موجود در نرم افزار و دستورهایی که در منوی Image processing وجود دارد، شکل فیلتر می‌شود (شکل ۴).

دلیل فیلتر کردن آن است که پس از جایگزینی ماتریسهای هدف بر روی ماتریسهایی که در آن اثر نوار یا فلاش موجود است، شکل از حالت طبیعی خارج شده و مرزهای آن نواحی شکسته پیدا می‌کنند. با این دستور که imfilter نام دارد، ماتریس تهیه شده جدید فیلتر شده و پخش رنگ در شکل یکنواخت و در مرحله بعدی کسر فضای خالی تعیین می‌شود. در نمودارهای شکل ۵ پراکندگی شدت رنگ در طول لوله و درصد حضور آب در لوله ارائه شده است. اگر تصویر به شکل grayscale پردازش شود، نرم‌افزار نقاط سفید مطلق (فقط هوا) را با عدد ۲۵۵ و نقاط سیاه مطلق (فقط آب) را با صفر متناظر می‌کند. به عنوان مثال برای تصویر آزمایش ۱۹ مجموع درایه‌ها در حالت پر از هوا برابر $444 \times 1059 \times 255$ خواهد بود. برای تعیین α ابتدا \max عددی (کمی) درایه‌ها (M) را تعیین کرده، سپس با تعریف ماتریسی به نام C برای یک سطر از تصویر، وضعیت وجود آب و هوا تعیین



شکل ۴ نحوه فیلتر نمودن تصویر



شکل ۵ الف- هیستوگرام شدت رنگ در طول موج، ب- درصد حضور آب در لوله

جدول ۳ نتایج تجزیه و تحلیل نمونه با استفاده از Photoshop

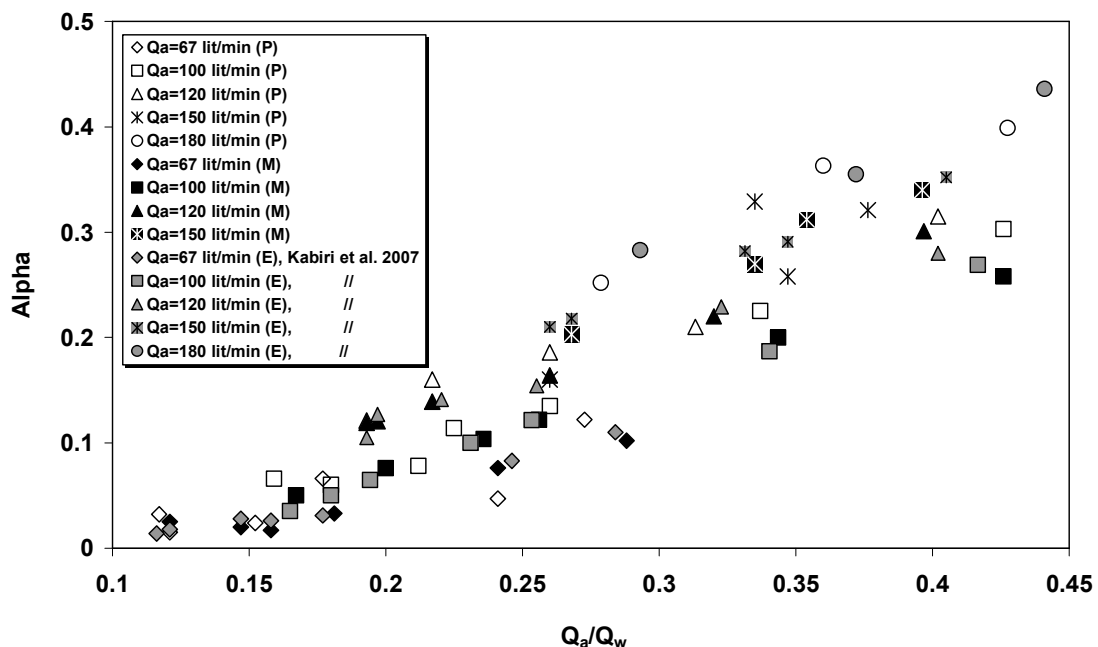
Q_a (lit/sec)	Q_w (lit/sec)	Q_a/Q_w	T (s)	f (s^{-1})	L (m)	L/D	C=L/T (m/s)	Fr
۱/۱۲	۳/۹۳	۰/۲۸۴	۲	۰/۵	۱/۱۲	۱۲/۴۴	۰/۵۶	۰/۱۷

حسگرها حاصل شده است. (Kabiri-Samani et al., 2007). ملاحظه می‌شود که با افزایش دبی آب کسر فضای خالی به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد. با توجه به نزدیکی نقاط حاصل از پردازش تصاویر با استفاده از نرم‌افزار Matlab با نتایج حاصل از مدل آزمایشگاهی، صحت پردازش و تحلیل تصاویر با این روش بیشتر مورد

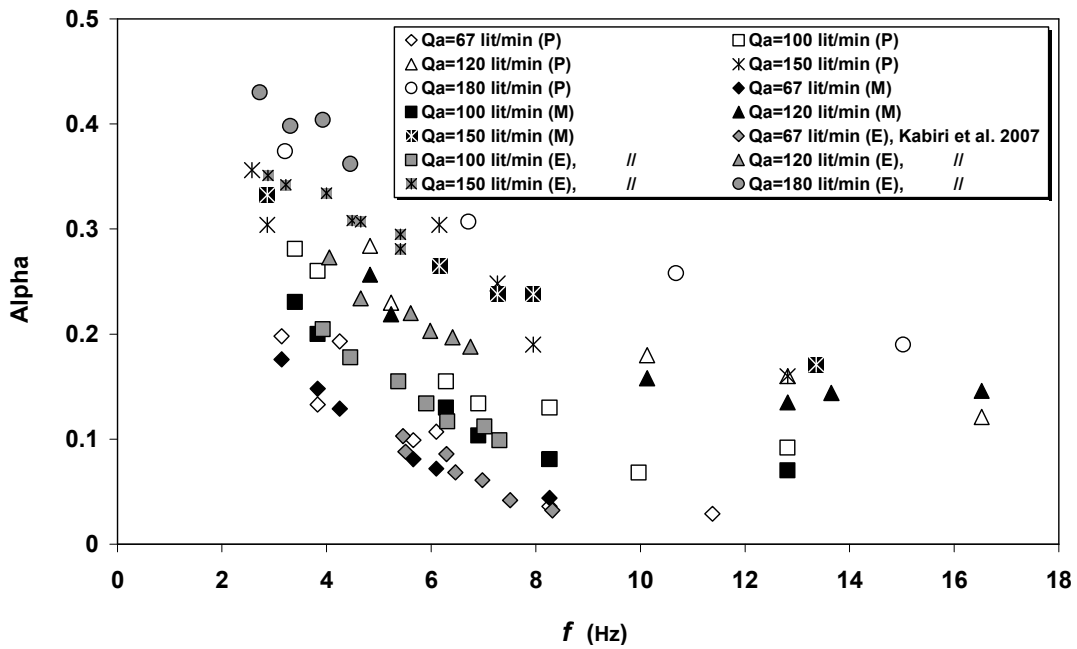
در نمودارهای بعدی P نتایج حاصل از پردازش تصاویر با استفاده از نرم‌افزار Photoshop، M نتایج حاصل از نرم‌افزار Matlab و E نتایج آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. شایسته است گفته شود که نتایج مدل آزمایشگاهی با استفاده از طیف‌های موج حاصل از حسگرهای فشارسنجی بر اساس تحلیل طیف و با واسنجی این

کاهش کسر فضای خالی می‌شوند. همچنین بررسی نتایج برای دبی‌های هوای مختلف نشان می‌دهد که کسر فضای خالی با افزایش فرکانس موج لخته‌ای از یک حد معین به بعد تقریباً ثابت باقی می‌ماند. مقایسه نتایج حاصل از دو نرم‌افزار در مقابل مقادیر آزمایشگاهی حاصل در دو شکل فوق، مؤید این است که خروجی‌های نرم‌افزار Matlab به مراتب از دقت بالاتری برخوردارند. این نتیجه در شکل دیگری با استفاده از شکل ۸ نیز قابل استنتاج است. شکل ۸ نتایج محاسبات کسر فضای خالی را با استفاده از دو نرم‌افزار Photoshop و Matlab در مقابل نتایج آزمایشگاهی مقایسه کرده است. در این شکل ملاحظه می‌شود که پراکندگی نتایج با استفاده از Photoshop در حدود ۲۰ درصد است، در حالی که نتایج نرم‌افزار Matlab به‌ویژه در مقادیر بالای کسر فضای خالی در محدوده $\pm 10\%$ و کمتر جای گرفته است.

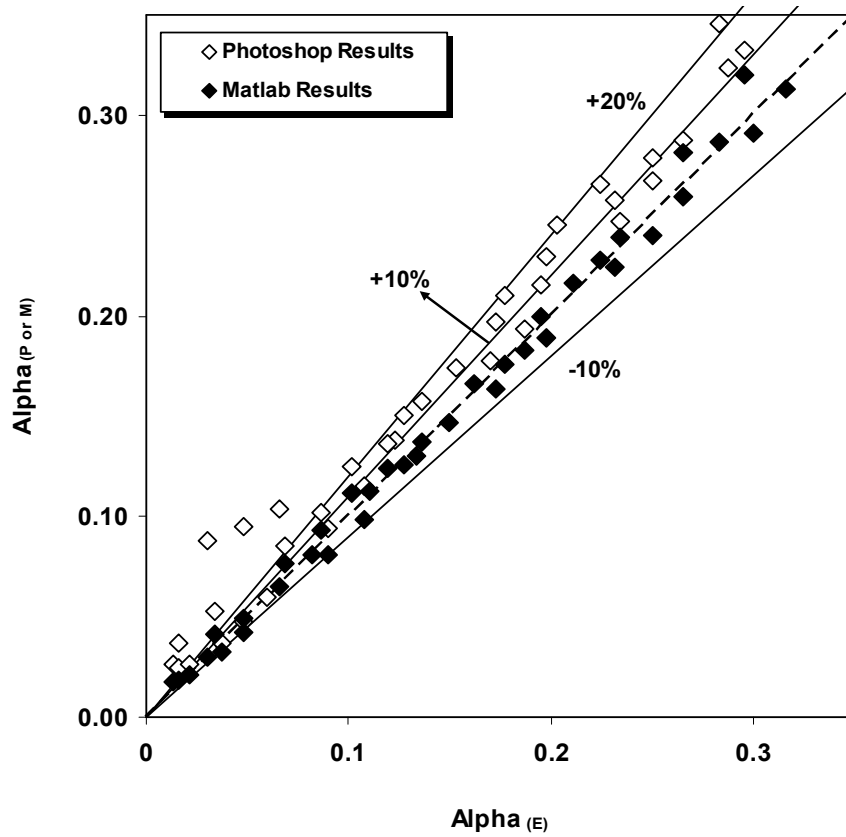
تأیید قرار می‌گیرد. در شکل ۶ تغییرات کسر فضای خالی در مقابل نسبت دبی هوا به دبی آب نشان داده شده است. بررسی این تغییرات نشان می‌دهد که به‌طور کلی با افزایش Q_a/Q_w ، α افزایش می‌یابد. این روند در نتایج حاصل از هر سه روش به روشنی قابل مشاهده است. همچنین با افزایش دبی هوا در دبی آب ثابت، کسر فضای خالی افزایش می‌یابد. بررسی نتایج همچنین نشان می‌دهد که در دبی‌های زیاد آب برای نسبت دبی هوا به آب کمتر از 0.2 آهنگ تغییرات کسر فضای خالی با تغییر دبی هوا بسیار ملایم است. در شکل ۷ نمودار تغییرات کسر فضای خالی با فرکانس موج لخته‌ای نشان داده شده است. از نتایج ارائه شده در این شکل می‌توان دریافت که با افزایش فرکانس موج لخته‌ای، کسر فضای خالی کاهش می‌یابد. به بیان دیگر در این حالت امواج لخته‌ای با طول موج کوچکتر و زمان تناوب کمتری شکل گرفته و سبب



شکل ۶ تغییرات کسر فضای خالی در مقابل نسبت دبی هوا به دبی آب



شکل ۷ تغییرات کسر فضای خالی نسبت به فرکانس موج لخته‌ای



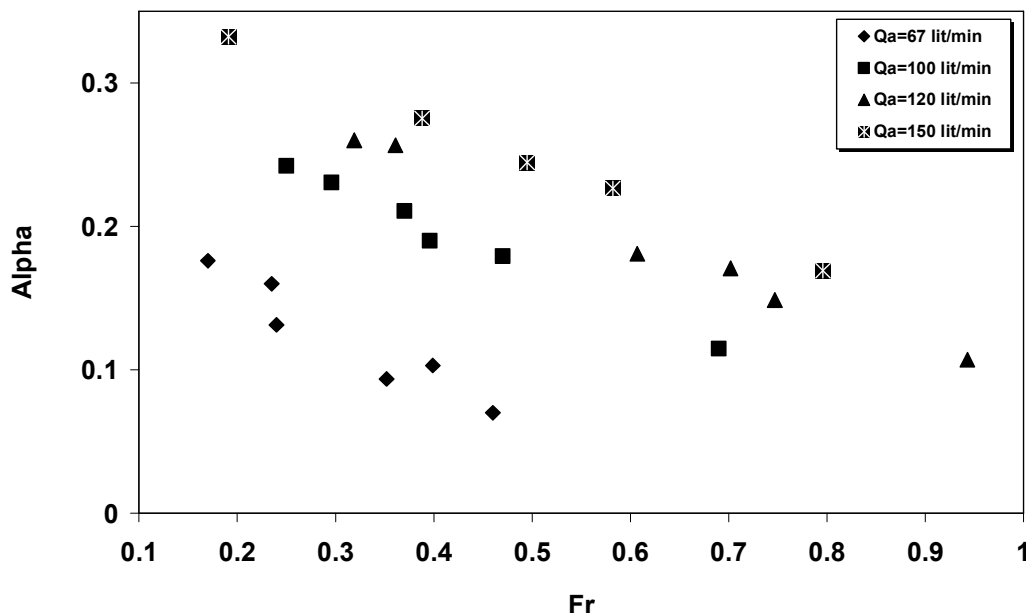
شکل ۸ مقایسه پراکندگی نتایج با استفاده از دو نرم‌افزار Photoshop و Matlab در مقابل نتایج آزمایشگاهی

بر اساس اطلاعات مربوط به سرعت موج (C) و طول موج (L) محاسبه شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش عدد فرود موج، کسر فضای خالی کاهش می‌یابد. ضمناً در عدد فرود ثابت، با افزایش دبی هوا، کسر فضای خالی افزایش یافته است. بررسی تغییرات کسر فضای خالی در مقابل پارامترهای هیدرولیکی معرف عدد فرود یعنی سرعت و طول موج نشان می‌دهد که با افزایش طول موج لخته‌ای، کسر فضای خالی افزایش یافته و با افزایش سرعت موج لخته‌ای در دبی هوای ثابت، کسر فضای خالی کاهش می‌یابد. بنابراین با تعریف ارائه شده برای عدد فرود کاهش کسر فضای خالی در مقابل عدد فرود منطقی به نظر می‌رسد.

علت اصلی بیشتر بودن خطا در نرم‌افزار Photoshop را می‌توان در محدودیت انتخاب قطعه دانست. زیرا در کل طول مدل تعداد محدودی شاخص زاویه‌ای نصب شده و لذا نمی‌توان زاویه آب را در قطعات کوچکی از موج تعیین کرد، لذا حجم آب و هوای موجود در موج با خطا تعیین می‌شود. محاسبات تابع خطا (NRMSE) و ضریب همبستگی (R^2) نیز نشان می‌دهد که نتایج حاصل از نرم‌افزار Matlab دقت بیشتری دارند (جدول ۴). از این رو در شکل‌های بعدی برای ایجاد امکان مقایسه بهتر، فقط نتایج حاصل از نرم‌افزار Matlab ارائه شده است. شکل ۹ تغییرات کسر فضای خالی را در مقابل عدد فرود موج نشان می‌دهد. همانطور که گفته شد، عدد فرود موج

جدول ۴ مقادیر تابع خطا (NRMSE) و ضریب همبستگی (R^2) برای نتایج حاصل از دو نرم‌افزار

روش محاسبه	تابع خطا	با استفاده از نرم‌افزار Photoshop	با استفاده از نرم‌افزار Matlab
R^2		۰/۹۷۹	۰/۹۹۰
NRMSE		۰/۳۰۸	۰/۱۰۶

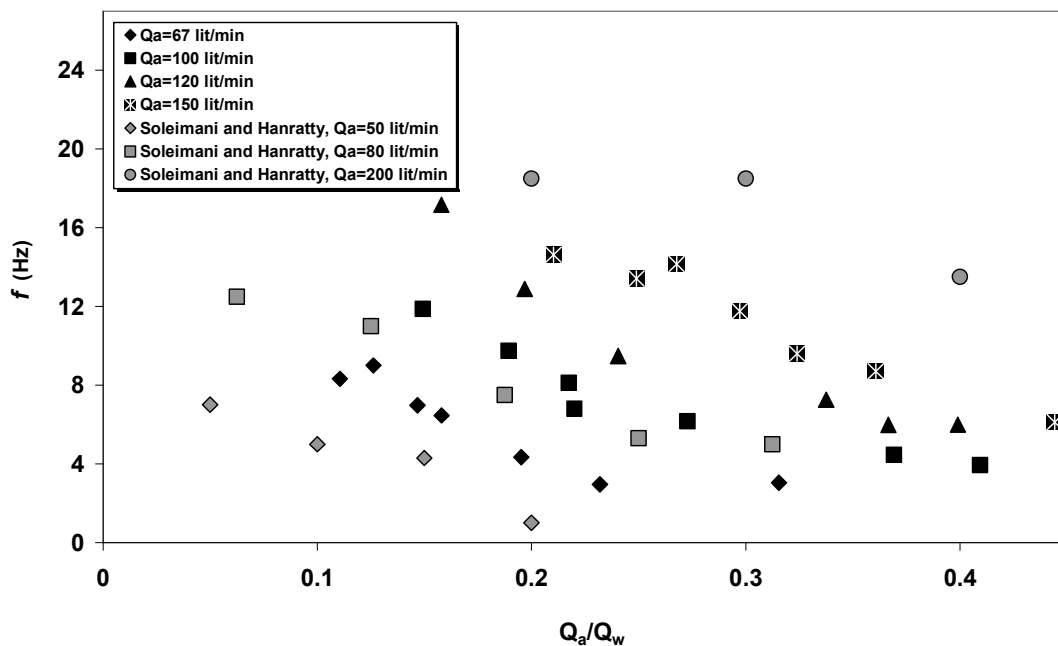


شکل ۹ تغییرات کسر فضای خالی در مقابل عدد فرود

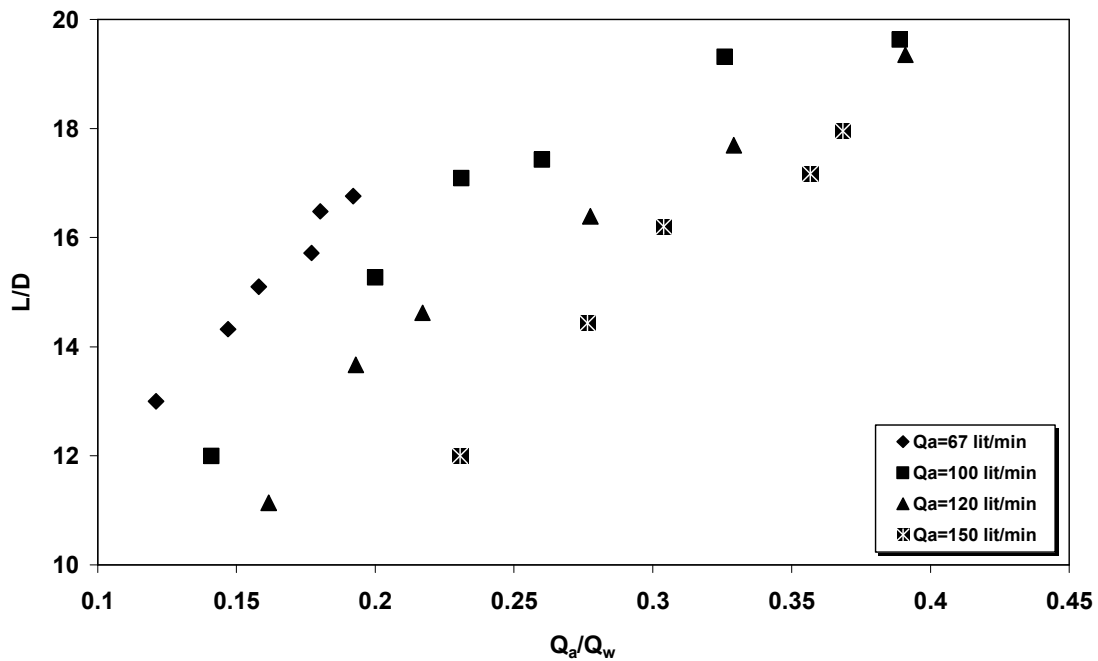
۶- نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی و تحلیل نتایج حاصل از پردازش تصاویر برداشت شده از مدل آزمایشگاهی شبیه سازی جریان دو فاز آب و هوا پرداخته شد. همانطور که گفته شد یکی از کاربردی ترین پارامترها در شناسایی الگوهای مختلف جریان، کسر فضای خالی یا کسر مایع تجمع یافته در مجرا است. از این رو در این تحقیق میزان کارایی استفاده از پردازش تصاویر در پیش بینی مشخصات جریان دو فاز مطالعه شد. بررسیها نشان داد که نتایج حاصل از پردازش تصاویر با استفاده از نرم افزار Matlab نسبت به نتایج مشابه با استفاده از نرم افزار Photoshop دقت بالاتری دارند. ضمناً بررسی آزمایشها و نتایج پردازش تصاویر نشان داد که با افزایش دبی آب در دبی هوای ثابت کسر فضای خالی به طور محسوسی کاهش می یابد.

در شکل ۱۰ نمودار تغییرات فرکانس امواج لخته ای به وجود آمده در آزمایشها با نسبت دبی هوا به دبی آب ارائه شده است. ملاحظه می شود که با افزایش نسبت دبی هوا به دبی آب، فرکانس موج لخته ای کاهش می یابد. ضمناً مشاهده می شود که در Q_a/Q_w ثابت با افزایش دبی هوا و در نتیجه افزایش دبی آب، فرکانس موج لخته ای افزایش می یابد. بررسی این شکل همچنین نشان دهنده این است که فرکانس موج لخته ای تا حد معینی از نسبت دبی، روند نزولی داشته، اما پس از مقدار حدی، با افزایش این نسبت تقریباً ثابت باقی می ماند. تغییرات نسبت طول موج به قطر لوله در مقابل نسبت دبی هوا به دبی آب در شکل ۱۱ نشان داده شده است. ملاحظه می شود که با افزایش L/D ، Q_a/Q_w افزایش می یابد. ضمناً با افزایش دبی هوا در نسبت Q_a/Q_w ثابت، طول موج کاهش یافته است.



شکل ۱۰ تغییرات فرکانس موج لخته ای در مقابل نسبت دبی هوا به دبی آب



شکل ۱۱ نمودار تغییرات L/D بر حسب Q_a/Q_w

L	طول موج
M	نتایج نرم افزار Matlab
$NRMSE$	تابع خطا
P	نتایج نرم افزار Photoshop
Q_a	دبی هوا
Q_w	دبی آب
R^2	ضریب همبستگی
Re	عدد رینولدز
T	پریود موج لخته‌ای
V_a	حجم هوا در یک طول موج
V_t	حجم داخلی مجرا در یک طول موج
x	راستای طولی

۸- منابع

کبیری سامانی، ع.، برقعی، س.م. و سعیدی، م.ح.، (۱۳۸۵).
 "الگوهای جریان دوفازی آب و هوا در تونلهای آب‌بر افقی و با
 شیب کم"، مجله علمی- پژوهشی شریف، سال ۲۲، شماره ۳۵،
 ص. ۱۳-۲۱.

با افزایش فرکانس موج لخته‌ای، کسر فضای خالی کاهش
 می‌یابد. با افزایش طول موج لخته‌ای کسر فضای خالی
 افزایش می‌یابد. در حالی که با افزایش سرعت موج و عدد
 فرود موج لخته‌ای در دبی هوای ثابت، کسر فضای خالی
 کاهش می‌یابد. با افزایش نسبت دبی هوا به دبی آب،
 فرکانس موج لخته‌ای کاهش یافته و طول موج لخته‌ای
 افزایش می‌یابد.

۷- فهرست علائم

α	کسر فضای خالی
C	سرعت موج
D	قطر مجرا
E	نتایج آزمایشگاهی
f	فرکانس موج
Fr	عدد فرود
g	شتاب جاذبه

- Jones, D. C., and Zuber, N., (1978). "Use of the cylindrical hot-film anemometer for measurement of two-phase void and volume flux profiles in a narrow rectangular channel", A.I.Ch.E. Symposium Series.
- Kabiri-Samani, A. R., Borghei, S. M. and Saidi, M. H., (2007). "Fluctuation of air-water two-phase flow in horizontal and inclined water pipelines", *J. of Fluids Eng.*, ASME, 129(1), pp. 1-14.
- Lockhart, R. W., and Martinelli, R. C., (1949). "Proposed correlation of data for isothermal two-phase two-component flow in pipes", *Chem. Eng. Prog.*, pp. 64, 193.
- Mazumder, B. S., Bhattacharyya, A. and Ojha, S. P., (2008). "Near-bed particle motion due to turbulent flow using image processing technique", *J. Flow Visualization and Image Processing*, 15(1), pp. 1-15.
- Nastase, I., Meslem, A. and Bouwmans, T., (2008). "Vortical structures analysis in jet flows using a classical 2D-PIV system and time resolved visualization image processing", *J. Flow Visualization and Image Processing*, 15(4), pp. 275-300.
- Soleimani, A., Hanratty, T. J., (2003). "Critical liquid flows for the transition from the pseudo-slug and stratified patterns to slug flow", *Int. J. Multiphase Flow*, pp. 29, 51-67.
- Waelchli, S., Rohr, P. R. V. and Stampanoni, M., (2005). "Multiphase flow visualization in microchannels using X-ray tomographic microscopy (XTM)", *J. Flow Visualization and Image Processing*, 12(1), pp. 1-13.
- Wu, Z., Zhu, J., Chen, S., Yang, L. and Yang, H. X., (1991). "An image processing system for quantitatively analyzing the 2-D fluid velocity-field image", *Computers and Fluids*, 20(4), pp. 259-371.
- Zhang, H. Q., Wang, Q., Sarica, C., and Brill, P. J., (2003). "A unified mechanistic model for slug liquid holdup and transition between slug and dispersed bubble flows", *Int. J. Multiphase Flow*, 29, pp. 97-107.
- مالمیریان، ح. (۱۳۸۰). پردازش رقمی تصاویر، انتشارات سازمان جغرافیایی وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح.
- وطنی، ع. و مخاطب، س. (۱۳۸۰). اصول طراحی هیدرولیکی خطوط لوله انتقال جریانهای دو فاز، انتشارات جهاد دانشگاهی، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- Alves, G. E. (1954). "Co-current liquid-gas flow in a pipeline contactor", *Chem. Process. Eng.*, 50(9), pp. 449-456.
- Dalziel, S., (1993-2001). Image processing for fluid dynamics, Two-dimensional particle tracking, DL Research Partners, <http://www.damtp.cam.ac.uk/lab/digimage/track2d.pdf>.
- Dong, F., Liu, X., Deng, X., Xu, L., and Xu, L. A., (2001). "Identification of two-phase flow regimes in horizontal, inclined and vertical pipes", *I.O.P., Meas. Sci. Tech.*, 12, pp. 1069-1075.
- Falvey, H. T., (1980)., "Air-water flow in hydraulic structures", *Eng. Monograph*, No. 41, US Department of the Interior, Water and Power Resources Service.
- Grant I., (1999). "Image processing problems in fluid mechanics (Keynote Lecture)", *Euromech 406, Image Processing Methods in Applied Mechanics*, Euromech Society, Warsaw, Poland.
- He, L. and Puleo, J. A., (2009). "PIV measurements of surface flows in laboratory wave basins", *J. Flow Visualization and Image Processing*, 16(1), pp. 1-18.
- Hemrle, J., Onishi, T., Adina, C., Mochizuki, S. and Murata, A., (2007). "Quantitative description of the inner flow behavior of a two-phase heat transport device using image sequence processing", *J. Flow Visualization and Image Processing*, 14(4), pp. 417-430.
- Jaw, S. Y., and Wu, J. L., (2000). "Alternating color image anemometry and its application", *J. Flow Visualization and Image Processing*, 7 (3), pp. 105-122.