

## بررسی کارایی نرم‌افزار فلونت در برآورد دبی جریان در قطره‌چکان بلندمسیر

یاسر حسینی<sup>۱\*</sup>، پیمان ورجاوند<sup>۲</sup>، جواد رمضانی‌مقدم<sup>۲</sup> و محمدرضا نیک‌پور<sup>۳</sup>

- ۱- دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران  
 ۲- استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران  
 ۳ و ۴- استادیاران دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران  
 تاریخ دریافت: ۹۷/۳/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۲۸

### چکیده

مطالعه رفتار جریان در حین عبور از مجاری قطره‌چکان‌ها به دلیل اندازه کوچک و ساختار پیچیده آنها مشکل است. از این‌رو مدل‌های عددی، اگر در عمل آزموده شده باشند، می‌توانند در تحلیل هیدرولیکی جریان قطره‌چکان‌ها به کار برده شوند. در این تحقیق، با استفاده از نرم‌افزار فلونت نحوه توزیع سرعت و فشار در قطره‌چکان نوع تیپ شبیه‌سازی شد و رابطه بین فشار و دبی در سه فشار ۴، ۵ و ۶ متر آب به دست آمد. برای جریان آشفته، علاوه بر روابط پیوستگی و ناویر - استوکس به کار رفته در مدل جریان آرام، از روابط ساده شده مدل k-ε استاندارد استفاده شد. مش‌بندی با نرم‌افزار گمبیت اجرا و برای این منظور از مش‌های چهاروجهی استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که مدل در شرایط جریان آرام و جریان آشفته، نتوانسته است دبی خروجی از قطره‌چکان را به خوبی مدل کند و دبی برآورد شده با مدل فلونت برای فشارهای مختلف برای جریان آرام و آشفته به ترتیب ۲۵ و ۲۳ درصد بیش از مقادیر اندازه‌گیری شده به دست آمد، به طوری که میزان اختلاف دبی برآورد شده و اندازه‌گیری شده در فشارهای ۶، ۵، ۴ متر آب، برابر ۰/۲۸، ۰/۲۳ و ۰/۲ لیتر بر ساعت برای جریان آرام و ۰/۲۷، ۰/۲۳ و ۰/۱۹ لیتر بر ساعت برای جریان آشفته محاسبه شد. نتایج بررسی‌ها همچنین وجود بیش‌برازش را در کلیه فشارها توسط مدل نشان داد که با افزایش فشار اعمال شده افزایش داشت.

### واژه‌های کلیدی

توزیع سرعت، جریان آرام، جریان آشفته، فشار هیدرولیکی، شبیه‌سازی

### مقدمه

است. از آنجا که رفتار جریان داخل مجاری قطره‌چکان به دلیل ساختار پیچیده و اندازه کوچک آن‌ها امکان‌پذیر نیست، برای مطالعه رفتار جریان در این‌گونه مجاری از مدل‌های ریاضی و فیزیکی استفاده می‌شود. دلقندی و همکاران (Delghandi et al., 2010; 2013) جریان مجاری سه نوع قطره‌چکان

خردآبیاری یا آبیاری موضعی که آن را به نام آبیاری قطره‌ای می‌شناسیم و در آن آب به نحوی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد که از آبیاری زمین فاقد گیاه خودداری شود، از روش‌هایی است که در سال‌های اخیر جایگاه ویژه‌ای در کشاورزی یافته

عبدی و فتحی (Abdi & Fathi, 2016) در تحقیقی با کمک مدل فیزیکی آزمایشگاهی، اثر دما را بر عملکرد هیدرولیکی و میزان گرفتگی قطره‌چکان‌های بلندمسیر از نوع نوار آبیاری درزدار، نوار آبیاری پلاک‌دار و لوله قطره‌چکان‌دار را بررسی کردند و نشان دادند افزایش دما اثر مثبت و معنی‌داری (در سطح یک درصد) بر کاهش میزان گرفتگی قطره‌چکان و دبی آن دارد.

بر اساس نظر مصطفی‌زاده و کهنوجی (Mostafazadeh & Kahnouji, 2003)، با افزایش دمای آب آبیاری، لزوجت سینماتیک آب کاهش می‌یابد و بنابراین در قطره‌چکان‌های با رژیم جریان آرام مقدار دبی قطره‌چکان، تحت تأثیر لزوجت آب آبیاری افزایش می‌یابد که می‌تواند سبب کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها شود.

العمود و همکاران (Al-Amoud *et al.*, 2014) بیان نمودند که افزایش دمای آب آبیاری باعث افزایش دبی قطره‌چکان‌ها و بالارفتن سرعت حرکت آب در داخل مجاری آنها می‌گردد و بنابراین احتمال رسوب‌گذاری و گرفتگی در مجاری داخلی قطره‌چکان‌ها را کاهش می‌دهد.

ملائی و همکاران (Molaie *et al.*, 2015) هیدرولیک سیستم‌های آبیاری قطره‌ای کم‌فشار در لوله‌های جانبی توسط مدل ریاضی را بررسی کردند. قطره‌چکان‌های مورد استفاده در این تحقیق از نوع میکروتیوب به قطر خارجی سه میلی‌متر و قطر داخلی یک میلی‌متر و طول ۷۰ سانتی‌متر بودند که در فواصل یک متری روی لوله لترال به قطر خارجی ۳۲ میلی‌متر و طول‌های ۱۶، ۶۰، ۸۹ متر و لترال به طول ۱۶ متر و قطرهای خارجی ۱۶، ۲۰، ۲۵ و ۳۲ میلی‌متر نصب شده بودند. در این تحقیق، پس از استخراج رابطه ریاضی دبی-فشار برای قطره‌چکان،

تیپ<sup>۱</sup> (یک نمونه نوع T-tape و دو نمونه از نوع تیپ پلاک‌دار) را با کمک دو نرم‌افزار فلونت<sup>۲</sup> و Flow 3D با فرض جریان آرام<sup>۳</sup> و آشفته بررسی کردند. مقایسه نتایج شبیه‌سازی با داده‌های آزمایشگاهی نشان‌داد مقادیر خطا بین ۴ تا ۱۲ درصد متغیر است و مدل آرام نسبت به مدل آشفته مقادیر دبی قطره‌چکان‌ها را کمتر برآورد نمود. بر اساس مقادیر خطای به‌دست آمده، در شبیه‌سازی جریان درون‌مجاری قطره‌چکان‌ها، مدل فلونت نسبت به مدل Flow 3d دقت بالاتری داشت.

معروف‌پور و پروینی (Marufpour & Parvini, 2012) رابطه دبی-فشار و دبی-دما را در نه قطره‌چکان تنظیم‌کننده بر خط ساخت خارج بررسی کردند که از نمایندگی‌های معتبر تهیه و روی لوله‌های فرعی ۱۶ میلی‌متری نصب شده بودند. این محققان اثر چهار دمای مختلف (در محدوده فشار صفر تا ۱/۲ برابر فشار بیشینه) را بررسی کردند و نشان دادند در تمامی دماهای مورد مطالعه وضعیت کارکرد قطره‌چکان‌ها خوب و اثر دما فقط روی یک‌سوم قطره‌چکان‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار است و لوله‌های قطره‌چکان‌های غیر خودتنظیم در دامنه فشاری مجاز و دمای استاندارد، از کیفیت مناسب برخوردار هستند و توان معادله دبی-فشار در آن‌ها کمتر از ۰/۲ است که نشان از کیفیت مناسب قطره‌چکان‌های مورد آزمایش دارد.

هزارجریبی و همکاران (Hezarjaribi *et al.*, 2013) عملکرد هیدرولیکی سه نوع قطره‌چکان تنظیم‌کننده (Siplast, Inline168 & Katif8) را در چهار فشار کارکرد بررسی و اعلام کردند رابطه دبی-فشار باید بر اساس داده‌های دقیق آزمایشگاهی باشد و استفاده از کاتالوگ‌های کارخانه توصیه نمی‌شود.

1- Type Stripe

3- Laminar Flow

2- Fluent

بررسی خصوصیات هیدرولیکی جریان در مسیره‌های عبور آب در قطره‌چکان‌ها، هفت نوع قطره‌چکان انتخاب کردند که بیشتر در چین استفاده می‌شد. نتایج این تحقیق نشان داد که برای دامنه فشار ۱/۵ تا ۱۵ متر آب، رابطه دبی-فشار مناسب و عدد رینولدز جریان بین ۱۰۵ تا ۹۳۰ متغیر است. همچنین اعلام کردند ضریب تغییرات برای تمامی قطره‌چکان‌ها و تمامی فشارها یکسان بوده است.

ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2007) هیدرولیک جریان را در مجرای قطره‌چکان با استفاده از نرم‌افزار فلونت تحقیق کردند که در آن یک مدل فیزیکی با بزرگ‌نمایی ۱۵ برابر و برای شبیه‌سازی جریان دو مدل جریان آرام و جریان آشفته استفاده شده بود. نتایج بررسی‌ها نشان داد حداکثر مقدار خطا برابر با ۸/۶ درصد است که نشان‌دهنده مناسب بودن دقت محاسبات عددی مدل است. نتایج این تحقیق نشان داد که در فشارهای ۴۰ تا ۱۶۰ کیلو پاسکال مدل جریان آشفته نسبت به مدل جریان آرام نتایج بهتر و دقیق‌تری می‌دهد نتایج تحقیق روی مدل عددی نشان‌دهنده است که بیشترین میزان افت فشار در قسمت مارپیچ جریان و مقدار افت برای هر واحد آن به‌ازای مقادیر مختلف دبی ورودی یکسان است. شبیه‌سازی جریان در مجاری قطره‌چکان می‌تواند در بهینه‌سازی ساختار آن کمک کند.

یان و همکاران (Yan *et al.*, 2007) خصوصیات جریان را در مجاری دندان‌های قطره‌چکان‌های در خط از نوع تیپ پلاک‌دار بررسی کردند و نشان دادند مدل جریان آشفته و الگوریتم عددی انتخاب شده برای محاسبه هیدرولیک جریان مناسب است و نوک و انتهای دندان‌های نواحی اصلی برای اتلاف انرژی است، و زاویه بزرگ‌تر دندان‌ها تاثیر زیادی روی

مقادیر توان و ضریب فشار به‌ترتیب برابر ۰/۸۴۲۱ و ۱/۹۵۵ به‌دست آمد.

عبدی و معروف‌پور (Abdi & Marufpour, 2016) می‌گویند دبی قطره‌چکان‌ها معمولاً در اثر عواملی مانند ضریب تغییرات ساخت، فشار، دمای آب آبیاری و گرفتگی قطره‌چکان تغییر می‌کند. در این تحقیق ۸ مدل لوله قطره‌چکان‌دار در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان بررسی شد که ۶ مورد آن از نوع تنظیم‌کننده فشار و دو مورد از نوع غیر تنظیم‌کننده فشار بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد در قطره‌چکان‌های مورد بررسی در این تحقیق، دو قطره‌چکان دارای توان معادله دبی-فشار کمتر از ۰/۲ (قابل قبول به‌عنوان تنظیم‌کننده فشار) و چهار قطره‌چکان دیگر دارای توان معادله بین ۰/۲ و یک بودند که به‌عنوان غیر تنظیم‌کننده فشار تعیین شدند. در تمامی قطره‌چکان‌های غیر تنظیم‌کننده فشار، دیده شد اثر دما بر دبی قطره‌چکان در سطح پنج درصد معنی‌دار است و پیشنهاد شد در طراحی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای اثر دما بر دبی قطره‌چکان بررسی و ضریب‌های اصلاحی لازم در میزان دبی اسمی قطره‌چکان‌ها اعمال شود. در خصوص قطره‌چکان‌های خودتنظیم‌مورد بررسی، میزان دبی در دامنه دمایی ۲۳ تا ۴۳ درجه سلسیوس مقداری ثابت بود.

لی و همکاران (Li *et al.*, 2006a) با بررسی تأثیر هندسه جریان مارپیچ بر کارایی هیدرولیکی و گرفتگی قطره‌چکان‌ها نشان دادند که فاصله بین دندان‌ها تأثیر معنی‌داری بر مقدار نمای جریان و قابلیت گرفتگی قطره‌چکان‌ها ندارد اما به‌صورت معنی‌داری به پارامترهای ارتفاع، فاصله، زاویه دندان‌ها و شکل مجاری قطره‌چکان وابسته است. در تحقیقی دیگر، لی و همکاران (Li *et al.*, 2006b) با

ساختاری را بر عملکرد هیدرولیکی قطره‌چکان‌های مارپیچی بررسی کردند و نتیجه گرفتند اثر دما بر مقادیر ضریب تغییرات ساخت قطره‌چکان (CV) در همه قطره‌چکان‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار است و با افزایش دمای آب آبیاری، دبی قطره‌چکان‌ها افزایش و احتمال رسوب‌گذاری در مجاری قطره‌چکان کاهش می‌یابد.

با توجه به اهمیت مدل‌سازی جریان در مجاری قطره‌چکان‌ها، برای بررسی توانایی مدل عددی فلونت در شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در این مجاری، در این پژوهش، رفتار جریان داخل مجاری قطره‌چکان تیپ با استفاده از نرم‌افزار فلونت شبیه‌سازی و مقادیر دبی و رابطه دبی- فشار به‌دست آمده با مدل، با نتایج آزمایشگاهی مقایسه می‌شود.

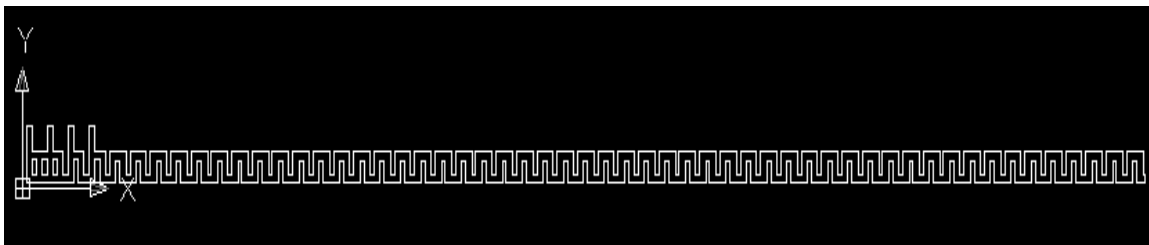
#### مواد و روش‌ها

در این تحقیق از قطره‌چکان نوع تیپ که از نوع قطره‌چکان‌های بلندمسیر هستند در سه تکرار استفاده شد، در شکل ۱، قطره‌چکان مورد بررسی نشان داده شده و در آن مشخص است آب در این نوع قطره‌چکان مسیری زیگزاک ۱۸ سانتی‌متری طی می‌کند.

افزایش کارایی هیدرولیکی قطره‌چکان‌ها دارد. بر این اساس، پیشنهاد شده است با تغییر ساختار ورودی آب به قطره‌چکان که حاصل نتایج مدل عددی است می‌توان از گرفتگی قطره‌چکان به‌مقدار زیاد جلوگیری کرد. این موضوع نشان می‌دهد در صورت معتبر بودن نتایج حاصل از مدل‌های عددی، مخصوصاً در مجاری باریک قطره‌چکان‌ها، می‌توان از نتایج این مدل‌ها در بهبود ساختار قطره‌چکان‌ها کمک گرفت.

وی و همکاران (Wei *et al.*, 2004) هیدرولیک جریان را در مجاری مارپیچ قطره‌چکان مدل و برای جلوگیری از انسداد قطره‌چکان‌ها ساختار آن را بهینه کردند. لی و همکاران (Li *et al.*, 2008) در خصوص ردیابی ذرات درون مجاری مارپیچ قطره‌چکان با استفاده از CFD تحقیق و برای این منظور از نرم‌افزار فلونت استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که اختلاف بین دبی‌های حاصل از اندازه‌گیری و شبیه‌سازی ۱۰ درصد است که نشان از دقت بالای مدل در شبیه‌سازی جریان در مجاری مارپیچ قطره‌چکان داشت.

در تحقیقی دیگر، العمود و همکاران (Al-Amoud *et al.*, 2014) اثر دما و پارامترهای



شکل ۱ - قطره‌چکان مارپیچ کناری لترال

Fig. 1- Lateral Side labyrinth emitter

شرایط پایدار در آن، ۳۰ دقیقه لحاظ شد. برای هر فشار سه تکرار ۳۰ دقیقه‌ای در نظر گرفته شد. آب مورد نیاز آزمایش‌ها از آب مصرفی شهر تأمین گردید که ضوابط ارائه شده در بند ۱ را دارا بود. برای جمع‌آوری آب خروجی از قطره‌چکان‌ها، از ظروف پلاستیکی استفاده شد. برای اندازه‌گیری مقدار آب جمع شده نیز از بشرهای مدرج ۱۰۰، ۲۵۰ و ۱۰۰۰ میلی‌لیتری استفاده گردید. شیرهای آب و قطره‌چکان‌ها نیز در طول آزمایش پیوسته بررسی می‌شدند تا خطایی ایجاد نگردد. پس از اتمام کار، قطره‌چکان تخریب و از مجاری آن‌ها برش‌های طولی و عرضی تهیه شد. برای تعیین اندازه مجاری، از برش‌های تهیه شده عکس‌برداری شد و با بزرگ‌نمایی تصاویر، اندازه و ابعاد مجاری تعیین گردید. در این تحقیق سعی شد ابعاد شبکه‌بندی تا حد امکان ریز باشد تا نتایج مدل دقیق‌تر باشد. به دلیل اینکه در نرم‌افزار استفاده شده، شبکه چهار وجهی است و مجاری قطره‌چکان مورد ارزیابی نیز پیچ و خم و انحنا دارد، گوشه‌هایی از دیواره‌های قطره‌چکان در وسط سلول‌های شبکه قرار می‌گرفت که باعث کاهش دقت و افزایش زمان حل مدل می‌گردید. برای رفع این مشکل تا حد امکان شبکه‌بندی با ابعاد کوچک در نظر گرفته شد. برای مدل‌سازی با دقت مناسب و کاهش زمان مورد نیاز در اجرای برنامه، مقایسه‌ای شد بین اندازه شبکه‌ها تا مناسب‌ترین شبکه‌بندی لحاظ شود. در کلیه آزمایش‌های عددی، شبکه‌بندی طوری تعیین شد که پارامترهای کنترل شبکه از قبیل بیشینه نسبت ابعاد شبکه<sup>۱</sup> و ضریب نسبت ابعاد شبکه<sup>۲</sup> در راستاهای مختلف و در مجاورت یکدیگر به مقدار بهینه و مناسب انتخاب شده باشد. برای کسب نتایج دقیق و مؤثر مقدار هریک از دو پارامتر فوق باید به عدد ۱

رابطه دبی- فشار به شیوه‌ای تعیین شد که با استاندارد ISO 9261 همخوانی داشته باشد. ضوابط تعیین دبی قطره‌چکان‌ها که در این استاندارد ذکر شده عبارت‌اند از:

شرایط آزمایش: همه آزمایش‌ها باید با دمای آب و محیط یکسان و در بازه  $23 \pm 3$  درجه سلسیوس اجرا شوند. آب برای آزمایش باید صاف یا از فیلتر با روزه‌های ۷۵ تا ۱۰۰ میکرومتر گذشته باشد و بار رسوبی آن نباید از ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر تجاوز کند.

- دقت وسایل اندازه‌گیری: وسیله اندازه‌گیری فشار آب باید قادر باشد خطای کمتر از یک درصد را نشان دهد و در دوره آزمایش مقدار فشار نباید بیشتر از ۲ درصد تغییر کند. دبی قطره‌چکان با وسیله‌ای اندازه‌گیری شود که خطای اندازه‌گیری آن کمتر از ۰/۵ درصد دبی اسمی قطره چکان باشد.

روش کار: بازه فشار اعمالی به قطره چکان‌ها باید از صفر تا حداقل  $1/2 P_{max}$  باشد که  $P_{max}$  حداکثر فشار پیشنهادی کارخانه سازنده است. گام‌های افزایش فشار نباید از ۵۰ کیلو پاسکال تجاوز کند، حداقل مدت زمان آزمایش بعد از رسیدن سیستم به تعادل فشاری باید سه دقیقه باشد (Anon, 2002).

آزمایش‌ها در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان اجرا شد. ارتفاع هیدرولیکی لازم برای اعمال فشارهای مورد نظر با بالابر مکانیکی تأمین شد. مخزن نسب شده روی بالابر پیوسته کنترل می‌شد تا ارتفاع آب ثابت بماند. قطره‌چکان مورد آزمایش روی لوله یک‌بار مصرف ۱۶ میلی‌متری متصل به مخزن نصب بود. سه فشار چهار، پنج و شش متر آب انتخاب شد تا هم حداقل تعداد فشارهای اعمالی و هم حداقل فاصله گام‌های زمانی ذکر شده در استاندارد رعایت گردد. مدت زمان هر آزمایش بعد از به تعادل رسیدن سیستم و ایجاد

1- Maximum Aspect Ratio

2- Maximum Adjacent Cell Size Ratio

استاندارد استفاده می‌شود. در روابط  $k-\varepsilon$ ، از ترم اول سمت چپ روابط ۵ و ۶ به دلیل دائمی بودن جریان و از  $G_b$  به دلیل در نظر نگرفتن نیروی ثقل و شناوری صرف نظر شد. همچنین، در جریانات تراکم‌ناپذیر  $Y_M$  نادیده گرفته می‌شود (Sarkar & Balakrishnan, 1990).

رابطه  $k$ :

$$\rho \frac{\partial u_j k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \frac{\mu_e}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_K - \rho \varepsilon \quad (5)$$

رابطه  $\varepsilon$ :

$$\rho \frac{\partial u_j \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \frac{\mu_e}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{K} G_K - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{K} \quad (6)$$

که در آنها،

$k$  = انرژی سنتتیک توربولنس؛  $\varepsilon$  = سرعت اتلاف انرژی؛  $u$  = سرعت جریان؛  $p$  = فشار؛  $x$  = بردار مکان؛  $\rho$  = چگالی سیال؛  $\mu$  = لزوجت سیال؛ و  $C_{\varepsilon 1}$ ،  $C_{\varepsilon 2}$ ،  $\sigma_k$  و  $\sigma_\varepsilon$  = ضریب‌های تصحیح.

این ضریب‌ها بنا به پیشنهاد لاندر و اسپادینگ (Launder & Spalding, 1974) به شرح زیر در نظر گرفته شده‌اند:

$$\sigma_\varepsilon = 1.3, \quad \sigma_k = 1.0, \quad C_{\varepsilon 2} = 1.92, \quad C_{\varepsilon 1} = 1.44, \quad C_\mu = 0.09$$

برای به دست آوردن سرعت جریان در مجاری قطره‌چکان و عدد رینولدز جریان، از روابط ۷ و ۸ استفاده شد. عدد رینولدز به چگالی جریان، متوسط سرعت جریان، شعاع هیدرولیکی جریان و لزوجت سیال بستگی دارد. رابطه بین سرعت ودبی جریان به مساحت مقطع عرضی کانال‌های قطره‌چکان (a) وابسته است.

$$V = \frac{q}{a} \quad (7)$$

نزدیک و نسبت ابعاد شبکه در مجاور یکدیگر از ۱/۳ و نسبت ابعاد شبکه در راستاهای مختلف از ۳ نباید بیشتر باشد (Anon, 2009). در شکل ۲ شبکه‌بندی مجاری داخل قطره‌چکان مورد مطالعه در این تحقیق نمایش داده شده است.

## روابط حاکم بر جریان

### مدل جریان آرام

در این مسئله، تأثیر وزن آب در مقایسه با تأثیر فشار آب ناچیز است؛ بنابراین، تأثیر وزن آب نادیده گرفته شد. به علاوه، به دلیل پایین بودن فشار اعمالی بر جریان آب داخل قطره‌چکان‌ها، فرض شد آب تراکم‌ناپذیر و جریان آب دائمی باشد یعنی نسبت به زمان تغییر نکند. بردارهای سرعت نیز در جدارها صفر در نظر گرفته شد. فرض عدم لغزش در دیواره‌ها نیز لحاظ و از تأثیر کشش سطحی آب صرف نظر شد (Wei et al., 2008). برای حل جریانات آرام، از دو معادله پیوستگی (رابطه ۱) و ناویر-استوکس (روابط ۲ تا ۴) استفاده می‌شود و با توجه به فرضیات ذکر شده، شکل ساده شده روابط به کار می‌رود.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} P + \nu \nabla^2 u = u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \quad (2)$$

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} P + \nu \nabla^2 v = u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \quad (3)$$

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} P + \nu \nabla^2 w = u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \quad (4)$$

### مدل جریان آشفته

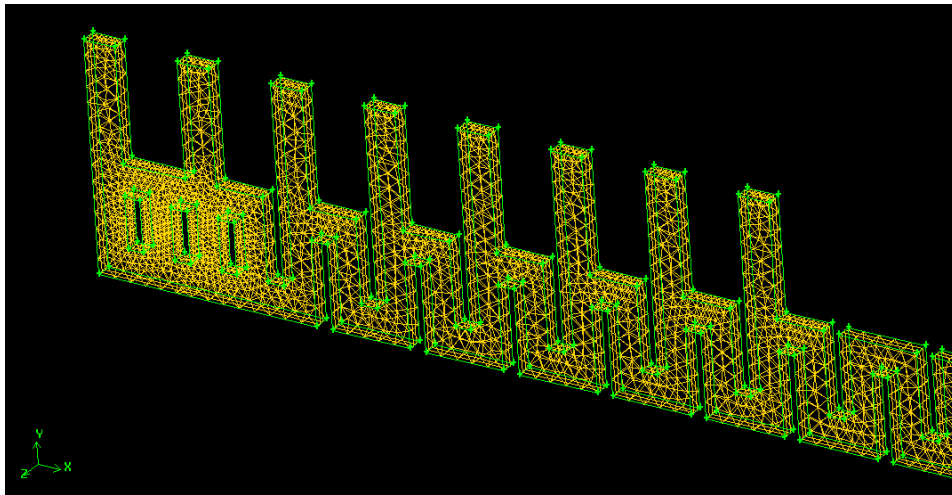
برای جریان آشفته، علاوه بر روابط پیوستگی و ناویر-استوکس، از روابط ساده شده مدل  $k-\varepsilon$

$$R = \frac{wd}{2(w+d)} \quad (۸)$$

که در آن،

$w$  = عرض؛ و  $d$  = عمق مجراهای قطره چکان.

از آنجا که مقطع عرضی هر سه جریان مستطیلی است می توان شعاع هیدرولیکی را از رابطه ۸ به دست آورد.



شکل ۲- شبکه ایجاد شده برای قطره چکان ماریج کناری

Fig. 2- The mesh created for the Side labyrinth emitter

ثابت و برابر با فشارهای اعمالی به قطره چکان ها در آزمایشگاه در نظر گرفته شد. فشار در خروجی قطره چکان به دلیل تخلیه آب به اتمسفر برابر با صفر فرض شد. - بردارهای سرعت در جدارها صفر در نظر گرفته شد. برای ارزیابی عملکرد مدل و مقایسه نتایج دبی حاصل از مدل فیزیکی و نرم افزار فلونت در دو حالت جریان آرام و آشسته، از آماره های خطای بیشینه<sup>۳</sup> (ME)، ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۴</sup> (RMSE)، درصد خطای نسبی<sup>۵</sup> (ε)، میانگین خطای مطلق<sup>۶</sup> (MAE)، ضریب تبیین (R<sup>2</sup>)، ضریب باقیمانده جرم<sup>۷</sup> (CRM) و کارایی مدل<sup>۸</sup> (EF) استفاده شد. بهترین پیش بینی ها زمانی رخ می دهد که آماره های ME، RMSE، CRM، ε و MAE به صفر و EF و R<sup>2</sup> به یک میل کنند. روابط ۹ تا ۱۴ آماره های مذکور را نشان می دهند.

#### ارزیابی عملکرد مدل ها و شرایط مرزی

برای حل مدل جریان آرام و مدل آشسته k-ε، از نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی، فلونت، استفاده شد. برای این منظور هندسه مجرای عبور آب با نرم افزار سالیدورک<sup>۱</sup> رسم و برای مش بندی به نرم افزار گمبیت<sup>۲</sup> وارد شد. برای این منظور از مش های چهار وجهی استفاده شد. به دلیل اینکه برای هندسه های دارای مقیاس طولی نامتقارن (مانند لوله های با قطر کم و طول زیاد) ممکن است محاسبات یک دقیقه برای بیان کردن مختصات گره ها مناسب نباشد، هنگام اجرای نرم افزار فلونت محاسبه گر دو دقیقه انتخاب گردید. جریان به صورت سه بعدی حل و دقت همگرایی آن نیز ۱×۱۰<sup>-۵</sup> لحاظ گردید. شرایط مرزی مورد استفاده در حل روابط عبارتند از: فشار در ورودی مجرای قطره چکان

1- Solid Work

3- Maximum Error

5- Relative Percentage Error

7- Coefficient of Residual Mass

2- Gambit

4- Root Mean Square Error

6- Mean Absolute Error

8- Model Efficiency

**نتایج و بحث**

**هیدرولیک جریان**

حجم آب خارج شده از قطره‌چکان‌ها در فشارهای مختلف و در مدت زمان آزمایش در سه تکرار تعیین گردید. که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. بر این اساس، حداقل سرعت ۰/۴۷ متر بر ثانیه در فشار ۴ متر آب و حداکثر آن ۰/۵۴ متر بر ثانیه در فشار ۶ متر آب به دست آمده است. برای تعیین رژیم جریان، لازم است عدد رینولدز محاسبه شود. طبق رابطه ۲، بر اساس ابعاد قطره‌چکان، شعاع هیدرولیکی برای مجرای قطره‌چکان ۰/۱۶۵ میلی‌متر به دست آمد. مقدار عدد رینولدز برای سرعت‌های مختلف جریان، با فرض مقدار ۹۹۸ کیلوگرم بر متر مکعب و ۰/۰۰۱۰۰۳ کیلوگرم بر متر در ثانیه به ترتیب برای جرم مخصوص و لزوجت، تعیین شد که در جدول ۱ ارائه شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - P_i)^2} \quad (9)$$

$$\varepsilon = \frac{100\%}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Q_i - P_i}{Q_i} \right| \quad (10)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_i - P_i| \quad (11)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(Q_i - \bar{Q})]^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (12)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^N (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (13)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i - \sum_{i=1}^N P_i}{\sum_{i=1}^N Q_i} \quad (14)$$

که در آنها،

$N$  = تعداد نمونه؛  $P_i$  = مقادیر پیش‌بینی شده مدل؛  $Q_i$  = مقادیر واقعی؛  $\bar{P}$  = میانگین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل؛  $\bar{Q}$  = میانگین مقادیر واقعی.

جدول ۱- مشخصات هیدرولیکی جریان در قطره‌چکان‌ها  
Table 1- Hydraulic characteristics of flow in emitters

عدد رینولدز Reynolds number	سرعت جریان داخل مجاری قطره چکان (متر بر ثانیه) Flow velocity inside the emitter (m/s)	دبی آزمایشگاهی قطره چکان (لیتر بر ساعت) Experimental discharge (litr.hr <sup>-1</sup> )	متوسط حجم آب عبوری در ۳ تکرار (میلی لیتر) Average volume of flow (milliliters)	فشار (متر آب) Pressure (mH <sub>2</sub> O)
89	0.54	0.97	60	6
82.35	0.5	0.9	50	5
77.22	0.47	0.84	39	4

جریان در این‌چنین مجراهای کوچک مستقیم نیست، جریان می‌تواند جریان آشفته در نظر گرفته شود. به این دلیل در این مطالعه هر دو فرض لحاظ شد. مدل با سه فشار ۴، ۵ و ۶ متر ارتفاع آب که همان فشارهای اعمالی به قطره‌چکان در آزمایشگاه بودند حل شد و دبی متناظر با هر فشار برای هر دو مدل جریان آرام و جریان آشفته محاسبه گردید که

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که جریان از میان مجراهای مارپیچ قطره‌چکان، آرام است. در برخی تحقیقات از جمله تحقیقات کاندیلیکار و همکاران (Kandilikar et al., 2003)، گفته شده است، تبدیل جریان از جریان آرام به جریان آشفته در مجراهای با مساحت مقطع ۰/۱ میلی‌متر مربع می‌تواند در عدد رینولدز بین ۱۰۰ تا ۷۰۰ رخ دهد، چون مسیر

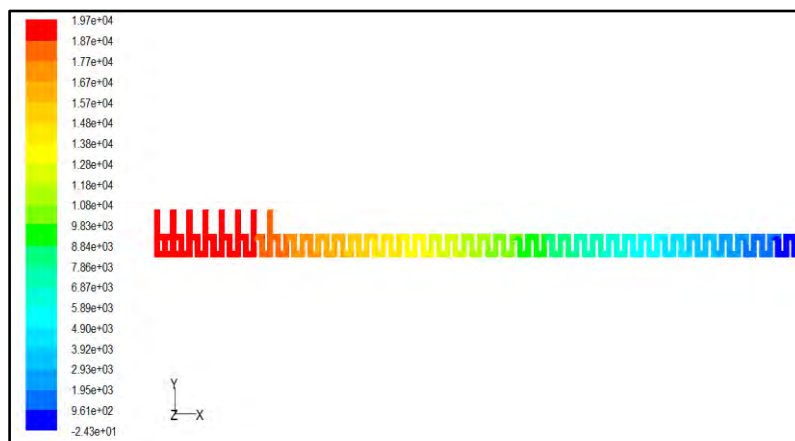


نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. در قطره چکان نیز در شکل های ۳ و ۴ نشان داده نتایج شبیه سازی توزیع سرعت و فشار جریان شده است.

جدول ۲- دبی حاصل از مدل جریان آرام و جریان آشفته با استفاده از نرم افزار فلونت

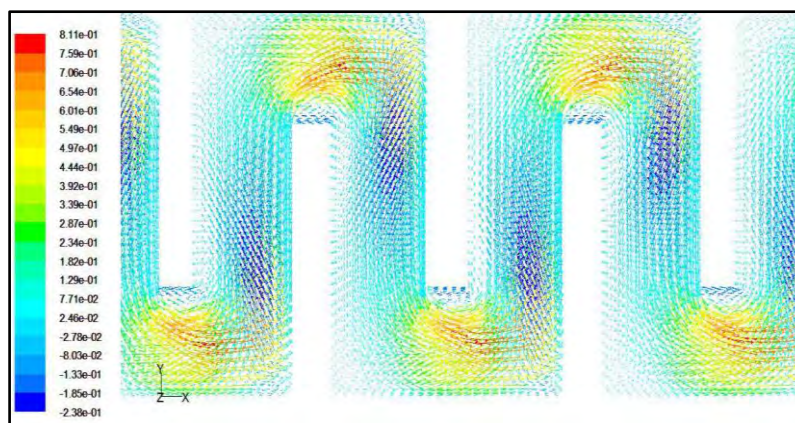
Table 2- Computational discharge of fluent model for laminar and turbulent conditions

دبی در حالت جریان آرام (لیتر بر ساعت) Discharge for laminar condition (litr.hr <sup>-1</sup> )	دبی در حالت جریان آشفته (لیتر بر ساعت) Discharge for turbulent condition (litr.hr <sup>-1</sup> )	فشار (مترآب) Pressure (mH <sub>2</sub> O)
1.044	1.036	4
1.15	1.148	5
1.252	1.249	6



شکل ۳ - توزیع فشار جریان درون مجرای قطره چکان مارپیچ کناری در فشار ۶۰ کیلوپاسکال

Fig. 3- Distribution of pressure inside the Side labyrinth emitter in 60 kPa



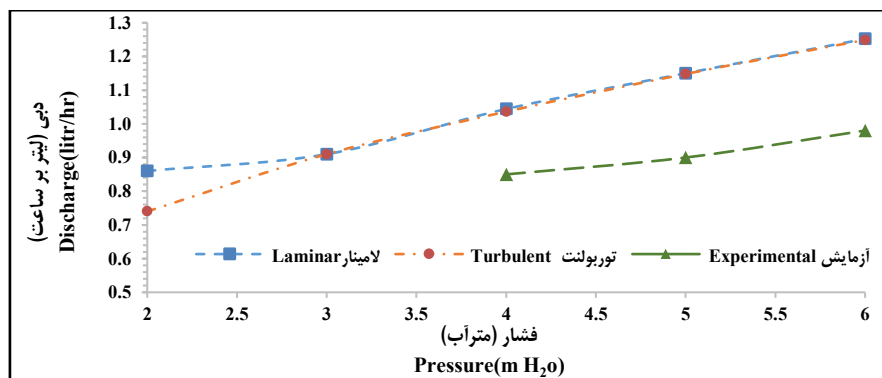
شکل ۴ - توزیع سرعت جریان درون مجرای قطره چکان مارپیچ کناری در فشار ۶۰ کیلوپاسکال

Fig. 4- Distribution of flow velocity inside the Side labyrinth emitter in 60 kPa

خطی چندمتغیره تعیین گردید که در شکل ۵ نشان داده شده است. در تعیین معادله فشار- دبی اندازه گیری شده برای

تعیین معادله دبی- فشار برای قطره چکان رابطه دبی- فشار برای داده های آزمایشگاهی و آنچه از نرم افزار به دست آمده است، با یک رگرسیون

قطره‌چکان از میانگین دبی‌ها استفاده شد و شده است. ضریب‌های معادله برای آزمایش و مدل در حالت‌های جریان آرام و جریان آشفته در جدول ۳ نشان داده در شرایط جریان آرام و آشفته نشان می‌دهد. همچنین جدول ۴ شاخص‌های عملکرد مدل را



شکل ۵- نمودار فشار و دبی مدل‌سازی و اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه برای قطره‌چکان ماریچ کناری

Fig. 5- Pressure versus discharge variations in laboratory and numerical models for Side labyrinth emitter

جدول ۳- مقادیر ضرایب رابطه دبی - فشار برای قطره‌چکان ماریچ کناری

Table 3- Coefficients of discharge versus pressure for Side labyrinth emitter

K	X	مدل Models
0.5	0.34	آزمایشگاهی Experimental
0.64	0.35	جریان آرام Laminar Flow
0.53	0.47	جریان آشفته Turbulent Flow

جدول ۴ - شاخص‌های عملکردی قطره‌چکان

Table 4. Statistical Indicators of the side labyrinth emitter

R <sup>2</sup>	ε (%)	MAE (Lit/hr)	RMSE (Lit/hr)	CRM	EF	مدل
0.96	25.45	0.212	0.21	-0.182	-4.57	جریان آرام Laminar Flow
0.98	21.49	0.185	0.198	-0.493	-4.58	جریان آشفته Turbulent Flow

و ۴ مشخص است، فشار در طول مسیر از قسمت ورودی تا خروجی قطره‌چکان به‌طور یکنواخت کاهش می‌یابد تا در خروجی به صفر می‌رسد و مقدار افت فشار در تمام واحدها یکسان است. افت فشار در اثر ورودی و خروجی قطره‌چکان ناچیز و قسمت

همان‌طور که در جدول ۱ مشخص است، میزان سرعت آب در مسیر قطره‌چکان مورد آزمایش در کلیه فشارها کمتر از ۰/۵۴ متر برثانیه است که این مقدار سرعت می‌تواند باعث ته‌نشینی ذرات در مجرای قطره‌چکان شود. همان‌طور که در شکل‌های ۳

آشفته نتایج دقیق تری نسبت به مدل جریان آرام در شبیه سازی جریان در قطره چکان دارد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. این مورد در تحقیق یان و همکاران (Yan *et al.*, 2007) نیز مشاهده شده است. نتایج به دست آمده وجود بیش برآزش را در کلیه فشارها توسط مدل نشان می دهد که این بیش برآزش با افزایش فشار اعمال شده افزایش نشان می دهد به طوری که در جریان آرام و آشفته، میزان اختلاف دبی برآورد شده و اندازه گیری شده در فشار ۶ متر آب به ترتیب برابر ۰/۲۸ و ۰/۲۳، در فشار ۵ متر آب به ترتیب برابر ۰/۲، ۰/۲۷، و در فشار ۴ متر آب به ترتیب برابر ۰/۲۳ و ۰/۱۹ لیتر بر ساعت به دست آمد. هزار جریبی و همکاران (Hezarjaribi *et al.*, 2013) می گویند برای اطلاع از چگونگی کار قطره چکان ها در شرایط مزرعه، باید قطره چکان ها در شرایط عملی آزموده شوند و صرفاً در نظر گرفتن کاتالوگ های کارخانه سازنده یا نتایج مدل نمی تواند نتایج دقیقی به دست دهد که نتایج این تحقیق نیز مؤید این مطلب است. بر اساس نظر این محققان، طراحی آبیاری قطره ای به ویژه رابطه دبی- فشار باید بر اساس نتایج واقعی آزمایشگاهی باشد نه بر اساس آنچه در کاتالوگ قطره چکان ها از طرف شرکت سازنده ارائه می گردد.

اگرچه وجود بیش برآزش در نتایج حاصل از مدل فلونتت با افزایش فشار مشاهده می گردد اما میزان آن به مقدار جزئی تغییر می یابد و این نشان می دهد که با افزایش سرعت جریان مجاری، به دلیل تغییرات بسیار زیاد مسیر عبور آب در مجاری، اختلاف دبی خروجی از مجاری قطره چکان تقریباً ثابت است. در تحقیقات سیکونی و رافاالی (Cicconi & Raffaelli, 2009) اختلاف نتایج شبیه سازی و اندازه گیری شده از ۸ تا ۳۳ درصد است که دقت کم

اعظم فشار در طول مسیر مستهلک می شود. شکل ۳ نشان می دهد که تغییر گرادیان فشاری عمدتاً در گوشه های مجاری اتفاق می افتد و جریان هنگامی که به گوشه ها می رسد تغییر جهت می دهد و افت موضعی زیادی در اثر این امر اتفاق می افتد که عمده ترین دلیل استهلاک انرژی هیدرولیکی است. بنابراین، تلفات فشار در گوشه مجراها درجه استهلاک انرژی هیدرولیکی را تعیین می کند. این نتیجه با نتایج مطالعات یان و همکاران (Yan *et al.*, 2007) همخوانی دارد. با توجه به شکل ۴، توزیع سرعت در تمام واحدهای قطره چکان تقریباً یکسان است. تنها در ورودی و خروجی، به دلیل متفاوت بودن هندسه آنها، نحوه توزیع سرعت نیز متفاوت است. در منطقه مستطیل شکل و در نزدیکی دیواره ها مخصوصاً اطراف گوشه ها، جریان به حالت سکون درمی آید که محل مناسبی برای ته نشین ذرات است. رسوب ذرات در این نواحی و همچنین پل بندی آنها ممکن است به مرور زمان موجب انسداد دهانه خروجی قطره چکان شود. مقدار عدد رینولدز به دست آمده برای جریان آب از مجاری قطره چکان در فشار ۶ متر آب، برابر ۸۹ است که نشان دهنده وجود جریان آرام در مسیر قطره چکان تیپ به کار برده شده است و بالطبع در سایر فشارهای اعمال شده نیز نوع جریان در قطره چکان به دلیل سرعت های پایین تر، آرام خواهد بود.

همان طور که در شکل ۳ مشخص و در جدول ۴ نیز نشان داده شده است، اگرچه نتایج مدل سازی جریان در شرایط جریان آرام بسیار نزدیک به جریان جریان آشفته است اما مدل سازی در شرایط جریان جریان آشفته به طور جزئی برآورد دبی جریان را بهتر از شرایط آرام نشان می دهد. در تحقیق ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2007) نیز مدل جریان

مسئله به نظر می‌رسد جنس مواد تشکیل‌دهنده قطره‌چکان‌های بلندمسیر بسیار بااهمیت است و استفاده از موادی لازم خواهد بود که قابلیت انبساط جزئی را در شرایط انسداد و گرفتگی جزئی مسیر دارند. در قطره‌چکان‌های تیپ پلاک‌دار، به دلیل آزاد بودن مقطع بیرونی مجرا که به لوله تیپ وصل است، این مورد تا حدودی لحاظ شده است و جریان می‌تواند در شرایط گرفتگی با افزایش فشار، سطح مقطع را افزایش دهد و گرفتگی را رفع کند (Yan *et al.*, 2007). در قطره‌چکان‌های تیپ مارپیچ کناری که موضوع این تحقیق است، به دلیل محصور بودن کل مسیر با مواد انعطاف ناپذیر، گرفتگی آن مخصوصاً در فشارها و سرعت‌های کمتر محتمل‌تر است.

شاخص‌های آماری عملکرد مدل‌ها در جدول ۴ نشان می‌دهد که مجذور میانگین مربعات خطای مقادیر برآورد شده نزدیک به ۰/۲ لیتر بر ساعت است که تقریباً ۲۰ تا ۲۵ درصد بیش از مقادیر به‌دست آمده از مدل فیزیکی می‌باشد. این بیش‌برازش برای قطره‌چکان مورد آزمایش قابل توجه است. سایر پارامترهای آماری و نیز شکل ۵ نشان می‌دهد که مدل نتوانسته است دبی خروجی از قطره‌چکان را در شرایط واقعی به خوبی مدل کند و میزان خروجی برآورد شده توسط مدل فلونت برای فشارهای مختلف تقریباً ۰/۲۲ برابر مقادیر اندازه‌گیری شده است که با نتایج تحقیق لی و همکاران (Li *et al.*, 2008) و دلقندی و همکاران (Delghandi *et al.*, 2010, 2013) مغایرت دارد. در تحقیق آنها، مدل فلونت دبی خروجی از قطره‌چکان را با اختلاف کمتر از ۱۰ درصد مدل کرده است.

مدل را در شبیه‌سازی قطره‌چکان‌های نشان می‌دهد؛ از دیدگاه این محققان، اندازه مش‌بندی شبکه می‌تواند دلیل اصلی این اختلاف باشد. در این تحقیق نیز با اینکه مدل توانسته است تغییرات فشار در طول مجرا را به درستی مدل کند، فشار اعمالی را در طول مجرای جریان مستهلک نماید، و اختلاف دبی به وجود آمده رادر شرایط جدید به شکلی ثابت حفظ کند، اما دلیل اختلاف نتایج را می‌توان به مش‌بندی شبکه جریان مرتبط دانست. توزیع سرعت نشان داده شده در شکل ۴ بیانگر این مسئله است که بحرانی‌ترین مسیر برای گرفتگی در مجرای قطره‌چکان، بعد از هر پیچ ۱۸۰ درجه در مسیر جریان است. در این نقاط، همان‌طور که در شکل مشخص است، سرعت جریان به شدت نزول می‌کند و به حد سکون در مقطعی از آن می‌رسد و به دلیل ایجاد آشفتگی در این مقطع، حداکثر افت در این مکان صورت می‌گیرد. در گزارش تحقیقی رسی و همکاران (Reethi *et al.*, 2015) گفته شده است که افزایش تعداد دندان‌های جریان بیش از زاویه و طول دندان‌ها می‌تواند باعث اتلاف انرژی در قطره‌چکان‌های بلندمسیر و باعث رسوب در این نقاط شود و مسیر قطره‌چکان را به‌مرور مسدود نماید. با انسداد یا تغییر سطح یکی از این نقاط حساس در قطره‌چکان، کل مسیر جریان تحت تأثیر قرار می‌گیرد و سبب می‌شود هیدرولیک جریان مجرای قطره‌چکان توانایی عبور جریان در شرایط طراحی را نداشته باشد و از این‌رو سیستم نتواند دبی مورد نیاز گیاه را تأمین نماید. بولینگ و همکاران (Buling *et al.*, 2015) کاهش زاویه مجرای مارپیچی قطره‌چکان‌های نوع تیپ کناری را، برای کاهش گرفتگی آن‌ها پیشنهاد کرده‌اند. با توجه به این

## نتیجه‌گیری

می‌شود سایر قطره‌چکان‌ها نیز با این نرم‌افزار مدل‌سازی شوند تا بتوان بررسی دقیق‌تری روی نرم‌افزار مذکور انجام داد. استفاده از روابط آشفتگی دیگر در جریان جریان آشفته و شبیه‌سازی جریان با این روابط به‌صورت جداگانه برای هر نرم‌افزار و مقایسه نتایج حاصل از آن‌ها برای تعیین مناسب‌ترین معادله برای قطره‌چکان می‌تواند مفید باشد.

تحقیق مشابه با استفاده از نرم‌افزار Flow3D و مقایسه آن‌ها در مدل‌سازی جریان در قطره‌چکان‌ها می‌تواند به انتخاب نرم‌افزار بهتر کمک کند.

نرم‌افزار فلوننت اگرچه تغییرات دبی را در قطره‌چکان تیپ بلندمسیر مارپیچ کناری به اندازه مقادیر واقعی نشان داده است، اما تخمین مقادیر دبی خروجی از قطره‌چکان با مقادیر مدل‌سازی عددی، اختلاف معنی‌داری دارد و باید در استفاده از این نرم‌افزار برای مدل‌سازی این نوع قطره‌چکان دقت کرد. مقادیر دبی مدل‌سازی شده در شرایط آنالیز جریان آرام و جریان آشفته دارای بیش‌برازش است و این بیش‌برازش نزدیک به دو برابر مقادیر اندازه‌گیری شده است. پیشنهاد

## قدردانی

این مقاله با حمایت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی طی قرارداد طرح شماره ۳۲۱ مورخ ۱۳۹۶/۳/۷ تهیه شده است و بدین وسیله از ایشان قدردانی می‌شود.

## مراجع

- Abdi, Ch., & Fathi, P. (2016). Studying the effect of temperature on the physical clogging of the long path emitters. *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(5), pp. 275-286. (in Persian)
- Abdi, S., & Maroufpoor, E. (2016). Investigation of the relationship between discharge–pressure and discharge–temperature in the conventional non-compensating and compensating emitting pipes. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(1), pp. 233-245. (in Persian)
- Al-Amoud, A. I., Mattar, M. A., & Ateia, M. I. (2014). Impact of water temperature and structural parameters on the hydraulic labyrinth-channel emitter performance. *Spanish Journal of Agriculture Research*, 12(3), pp. 580-593.
- Anon. (2002). Standard of Equipment Pressurized Irrigation. Publications of the National Irrigation and Drainage Committee. No.68. (in Persian)
- Anon. (2009). *Flow3D v9.3 User's Manual*. Flow Science.
- Buling, F., Songtao, Q., Shaojie, W., Zi, W., & Ruixian, L. (2015). *Study on the structure and hydraulic performance of the hydraulic pressure emitter of reverse gear*. In 4<sup>th</sup> International Conference on Mechatronics, Materials, Chemistry and Computer Engineering. Dec. 12-13. Xi'an, China.
- Cicconi, P., & Raffaelli, R. (2009). *A knowledge based approach for affordable virtual prototyping: the drip emitter's test case*. In 19<sup>th</sup> CIRP Design Conference – Competitive Design. March 30-31. Canfield University, United Kingdom.
- Delghandi, M., Behzad, M., & Broomandnasab, S. (2010). Analysis of hydraulic flow characteristics in small emitter channels by using fluent software. *Journal of Water and Soil*, 24(4), pp. 699-714. (in Persian)

- Delghandi, M., Saghi, H., & Broomandnasab, S. (2013). Performance computational fluid dynamics software tools in determination emitters outflow. *Iranian Journal of irrigation and Drainage*, 4(6), pp. 245-253. (in Persian)
- Hezarjaribi, A., Ghorbani-Nasrabad, Gh., Fazl-Oula, R., & Abedinpour, M. (2013). Evaluation of hydraulic performances of various drippers under different operation pressures and lab condition. *Journal of Water and Soil Conservation*, 20(1), pp. 199-211. (in Persian)
- Kandilkar, S. D., Joshi, S., & Tian, S. (2003). Effect of surface roughness on heat transfer and fluid flow character at low Reynolds numbers in small diameter tubes. *Heat Transfer Engineering*, 24(3), pp. 4-16.
- Lauder, B. E., & Spalding, D. B. 1974. The Numerical Computation of Turbulent Flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3, pp. 269-289.
- Li, G. Y., Wang, G. D., Alam, M., & Zhao, Y. F. (2006a). Influence of geometrical parameters of labyrinth flow path of drip emitters on hydraulic and anti-clogging performance. *Transactions of the ASAE*, 49(3), pp. 637-643.
- Li, Y. K., Yang, P. L., Xu, T. W., & Ren, S. M. (2006b). Hydraulic characterization of tortuous flow in path drip irrigation emitter. *Hydrodynamics Ser, B*, 18(4), pp. 449-457.
- Li, Y. K., Yang, P. L., Xu, T. W., Ren, S. M., Lin, X. C., Wei, R. J., & Xu, H. B. (2008). CFD and digital particle tracking to assess flow characteristics in the labyrinth flow path of a drip irrigation emitter. *Irrigation Science*, 26, pp. 427-438.
- Marufpour, E., & Parvini, M. (2012). Investigation of the relationship between discharge-pressure and discharge- temperature in the conventional compensating emitters. *Science and Thechnology of Agriculture and Natural Resources (Water and Soil Science)*, 17(66), pp. 147-156. (in Persian)
- Molaie, M., Mahdavi-mazdeh, A., & Vatankhah, A. (2015). Hydraulic evaluation of low-pressure drop irrigation by means of mathematical modeling and laboratory data. *Water Research in Agriculture*, 29(1), pp. 87-99. (in Persian)
- Mostafazadeh, B., & Kahnooji, M. (2003). The effect of water temperature on the discharge rate of some Iranian emitters. *Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources (Water and Soil Science)*, 6, pp. 31-42. (in Persian)
- Reethi, K., Mallikar, J., & Vijaya-Raghu, B. (2015). Analysis of flow through a drip irrigation emitter. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, 5(11), pp. 57-64.
- Sarkar, S., & Balakrishnan, L. (1990). Application of a reynolds-stress turbulence model to the compressible shear layer. *ICASE Report 90-18*. NASA CR 182002.
- Wei, Q. S., Shi, Y. S., Lu, J., Dong, W. C., & Huang S. H. (2008). Study on theory and process to rapidly develop drip emitters with low cost. *Transations of the Chinese Society of Agricultural Engineering (TCSAE)*, 21, pp. 17-21.
- Wei, Z. Y., Zhao, W. H., Tang, Y. P., Lu, B., & Zhang, M. (2004). Anti-clogging design method for the labyrinth channels of drip irrigation emitters. *Transactions of the CSAE*, 21(6), pp. 1-7. (in Chinese)
- Yan, D. H., Yang, P. L., Ren, S. M., & Li, Y. K. (2007). Numerical study on flow property in dentate path of drip emitters. *Agricultural Research*, 50, pp. 705-712.
- Zhang, J., Zhoo, W., Wei, Z. H., Tang, Y., & Lu, B. (2007). Numerical and experimental study on hydraulic performance of emitters with arc labyrinth channels. *Computers and Electronics in Agriculture*, 56, pp. 120-129.

## **Assessment of Fluent Software Performance for Flow Estimates in Long Path Drip Emitter**

**Y. Hoseini\*, P. Varjavand, J. Ramezani-Moghaddam and M. R. Nikpour**

\* Corresponding Author Associate Professor, Moghan Collage of Agriculture & Natural Resources, University of Mohaghegh-Ardabili, Ardabil, Iran. Email: [y\\_hoseini@uma.ac.ir](mailto:y_hoseini@uma.ac.ir)  
Received: 21 June 2018, Accepted: 19 December 2018

### **Extended Abstract**

#### **Introduction**

Drip irrigation in which water is only available to the plant, is increasingly used in recent years. Since the flow behavior inside the emitter is difficult due to their complex structure and small size, in present study an attempt was made to assess the flow behavior of the emitters using mathematical and physical models. It needs to be mentioned that analysis of flow behavior of water in labyrinth channels is difficult because of micro-characteristics of the emitter. In this context Zhang et al. (2007) modeled the emitter's flow path using fluent software. In this investigation two physical models namely: laminar and turbulent were used to simulate the flow. Also numerical models that have been tested in experimental conditions, were used in the hydraulic analysis of Emitters. Next, Fluent software was used to simulate the behavior of the flow inside the two long- path emitters for calculating the discharge -pressure relationship of the models and results were compared with results obtained from experimental results.

#### **Methodology**

In this research, two types of T-Tape emitter were used in three replications. Tape emitters are from the type of long-path emitters that are assembled inside the drip line system. In this study Fluent software was used to simulate flow in labyrinth channels of Tape Stripe emitter and the relation between pressure and rate of discharge under 3 pressure levels (4, 5 and 6 mH<sub>2</sub>O) was determined. For turbulent flow, in addition of Navier-Stokes Equations that were used in the laminar model, also the simplified equations of the standard k-ε model were used. Also, meshing was done by GAMBIT software and for this purpose; four-sided meshes were used. In order to minimize computational error, the network model was adjusted in four steps, and finally, for the Side labyrinth type and injection emitters, 313540 and 407145 computational cells were considered.

#### **Results and Discussion**

Results showed that. The model was not able to model the discharge from the droplet in laminar and turbulent conditions, and that the estimated output by the Fluent model for various pressures and laminar and turbulent conditions calculated were respectively 23 and 25 percent more than examined test. In laminar and turbulent flow at the pressures of 4, 5, 6 m, the difference between model and test were:

0.28, 0.23, 0.2 and 0.27, 0.23, 0.19 lit/ hr. respectively. Results also show that in case of the experimental emitters, a change in the pressure gradient mainly occurs in the corners of the ducts, and when the flow reaches the corners, it changes its direction, and consequently a large local loss occurs, which is the main reason for the dissipation of the hydraulic energy. Thus, the pressure loss in the corners of the micro channels determines the degree of hydraulic energy losses. Further results showed that higher values under different model pressures, which indicates that higher estimations happens with increasing applied pressure.

### **Conclusions**

- The discharge values of the emitter have a significant difference with the numerical modeling values and we should be careful in using this software to model this type of emitters.
- The side labyrinth emitter discharges estimated by the model are very close for laminar and turbulent flows, but significantly differ with the results of the physical model.
- According to the velocity distribution in the channel of both types of drip emitters, sharp angles along the flow path can be reduced to prevent clogging.

### **Acknowledgment**

The author gratefully acknowledges the University of Mohaghegh Ardabili for their financial support and assistance.

**Keywords:** Hydraulic Pressure, Laminar Flow, Simulation, Turbulent Flow, Velocity Distribution