

بررسی و تحلیل خصوصیات هیدرولیک جریان در مجاری ریز قطره چکان‌های مارپیچی با استفاده از نرم افزار FLUENT

مهدی دلغندی^{۱*} - مجید بهزاد^۲ - سعید پرومند نسب^۳

تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۲۸

تاریخ پذیرش: ۸۹/۲/۱۵

چکیده

قطره‌چکان مهمترین قسمت آبیاری قطره‌ای محسوب می‌گردد برای طراحی و ساخت قطره‌چکان‌های با کارایی بالا، لازم است اطلاعات کاملی از چگونگی مکانیسم جریان درون مجاری آن‌ها داشته باشیم، به دلیل ریز و پیچیده بودن هندسه مجاری مارپیچ قطره‌چکان‌ها، استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) برای مطالعه خصوصیات هیدرولیکی جریان درون مجاری آن‌ها، بسیار مناسب می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی، رفتار جریان داخل قطره چکان‌ها برای بدست آوردن نحوه توزیع سرعت و فشار به منظور طراحی نرم افزاری قطره‌چکان‌ها شبیه سازی شد و رابطه بین فشار و میزان دبی، تحت شش فشار مختلف به دست آمد. بدین منظور سه نمونه از دو نوع قطره چکان تیپ پلاک دار انتخاب، و تخریب شدند. اندازه مجاری با عکس برداری، توسط میکروسکوپ الکترونی (SEM) تعیین شد. سپس جریان درون قطره چکان‌ها توسط CFD شبیه سازی گردید. و ضرایب معادله دبی - فشار مشخص و توزیع سرعت و فشار داخل مجاری نمایش داده شد. صحت سنجی نتایج حاصله از مدل، براساس ضوابط ارائه شده در استاندارد ISO9261 در آزمایشگاه صورت گرفت. نتایج نشان دادند که داده های به دست آمده از شبیه سازی مطابقت بسیار خوبی با داده های آزمایشگاهی دارد و دینامیک سیالات محاسباتی می‌تواند ابزار بسیار مناسبی برای کمک به طراحی قطره چکان‌های با مجاری مارپیچ باشد و با کاهش تعداد قالب های آزمایشی، هزینه تولید قطره‌چکان‌ها کاهش می‌یابد.

واژه های کلیدی: قطره چکان، دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، رابطه دبی - فشار

مقدمه

در بازار، از آزمایشات تجربی کمک گرفته می‌شود بدین صورت که قطره‌چکان پس از ساخت، در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار می‌گیرد و در صورت نامناسب بودن، قالب آن اصلاح و دوباره با قالب اصلاح شده تولید می‌گردد. این عمل چندین بار تکرار می‌گردد تا قطره‌چکان تولید شده دارای کارایی مناسبی گردد. نتیجه این عمل از دست دادن زمان و افزایش هزینه می‌باشد. از طرفی دیگر مطالعه رفتار جریان در حین گذشتن از مجاری قطره‌چکان‌ها به خاطر اندازه کوچک و ساختار پیچیده آن‌ها مشکل می‌باشد (۲۲). مدل‌های فیزیکی می‌توانند تا حدودی مشکل دوم، یعنی مطالعه هیدرولیک جریان درون قطره چکان‌ها را حل کنند، اما برای کاهش زمان و هزینه تولید نمی‌توانند موثر باشند. مدل‌های کامپیوتری همچون FLUENT، ANSYS و flow 3D به دلیل هزینه پایین، سرعت بالا و در اختیار قراردادن اطلاعات کامل می‌توانند گزینه مناسبی برای کمک به کاهش روند تولید و مطالعه هیدرولیک جریان در قطره چکان‌ها باشند. تحقیقاتی نیز در این زمینه انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

رشد جمعیت و افزایش تقاضای جهانی برای غذا از یک طرف و کمبود منابع آب و خاک از طرف دیگر باعث شده است که استفاده بهینه از منابع آبی از اهمیت فراوانی برخوردار گردد. آبیاری قطره‌ای نیز یکی از روش‌های استفاده بهینه از منابع آبی به شمار می‌رود. البته صرف استفاده از آبیاری قطره‌ای نمی‌تواند برای این امر مفید باشد، بلکه برای نیل به این هدف لازم است سیستم آبیاری قطره‌ای علاوه بر طراحی، اجرا و نگهداری مناسب، از ادوات و تجهیزات مناسبی نیز بهره‌بردار. از آنجائی که قطره چکان‌ها مهمترین بخش سیستم آبیاری قطره‌ای می‌باشند، لذا کیفیت آن‌ها، مهمترین عامل موثر در بالا رفتن کارایی یک سیستم آبیاری قطره‌ای محسوب می‌شود. در حال حاضر برای ساخت قطره‌چکان‌های جدید و ارزیابی قطره چکان‌های موجود

۱، ۲ و ۳ - به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
* - نویسنده مسئول: (Email: m_delghandi@yahoo.com)

لی و همکاران (۹) در بررسی خصوصیات هیدرولیکی جریان در مسیرهای عبور آب قطره‌چکان‌ها، به این نتیجه رسیدند که برای دامنه فشار مذکور رابطه کلاسیک دبی - فشار مناسب می‌باشد و عدد رینولدز جریان بین ۱۰۵ تا ۹۳۰ متغیر بود. ضریب تغییرات برای تمامی قطره‌چکان‌ها و تمامی فشارها یکسان بود همچنین عنوان گردید که عدد رینولدز بحرانی برای چنین مجاری کمتر از مجاری معمولی می‌باشد.

لی و همکاران (۱۰) تحقیقی در رابطه با ردیابی ذرات درون مجاری ماریچ قطره‌چکان با استفاده از CFD انجام دادند و عنوان نمودند که اختلاف بین دبی‌های حاصل از اندازه‌گیری و شبیه‌سازی ۱۰ درصد بوده است.

در این تحقیق، رفتار جریان داخل مجاری قطره‌چکان‌ها برای محاسبه توزیع سرعت و فشار شبیه‌سازی شد و رابطه بین فشار و میزان دبی برای مجاری مختلف به دست آمد. برای این امر نرم افزار FLUENT به دلیل کارایی بالاتر آن در مسائل مربوط به جریان سیالات انتخاب گردید. مهمترین اهداف این تحقیق عبارتند از: ۱- شبیه‌سازی جریان داخل قطره‌چکان‌ها و پی بردن به چگونگی جریان از نظر توزیع سرعت و افت فشار ۲- تعیین ضرایب x و k (که در بخش رابطه دبی-فشار معرفی شده‌اند) معادله دبی-فشار قطره‌چکان توسط نرم افزار و مقایسه آن با x و k به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی.

مواد و روش‌ها

انتخاب قطره‌چکان‌ها

در این تحقیق با بررسی انواع مختلف قطره‌چکان‌های موجود در بازار دو نوع قطره‌چکان تیپ پلاک دار برای مطالعه انتخاب گردید. برای افزایش دقت از هر نوع قطره‌چکان سه نمونه مورد مطالعه قرار گرفت که با کدهای A1، A2، A3، B1، B2، B3 نامگذاری گردیدند در شکل‌های ۱ و ۲، تصویر هر دو قطره‌چکان نمایش داده شده است تفاوت قطره‌چکان‌های A و B در هندسه مجاری آن‌ها میباشد و به دلیل اجتناب از تبلیغ و یا تخریب اقتصادی تولیدکنندگان از ذکر نام قطره‌چکان‌ها خودداری گردید و با کد، نامگذاری گردیدند. طول مسیر جریان آب برای قطره‌چکان‌های A و B به ترتیب برابر با ۲۹ و ۲۷ میلی‌متر می‌باشد. دلیل انتخاب این دو نمونه قطره‌چکان سادگی هندسه مجاری عبور آب در آن‌ها بود که این امکان را فراهم می‌ساخت که بتوان با امکانات موجود اندازه‌گیری را تعیین نمود.

از کیسی و همکاران (۱۲) تلفات فشار داخل مسیرهای ماریچ قطره‌چکان‌ها را با فرض آرام بودن رژیم جریان مورد آنالیز قرار دادند و گزارش دادند که تلفات فشار در طول جریان نتیجه لبه‌های ماریچ قطره‌چکان‌ها بوده است. پالاتو و سالوادور (۱۳) رابطه بین فشار و میزان دبی را برای یک قطره‌چکان داخل خط با استفاده از نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی (FLUENT)، شبیه‌سازی نمودند و نشان دادند که مدل پیشنهاد شده تطابق خوبی با داده‌های آزمایشگاهی داشت. وی و همکاران (۱۷) از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) برای شبیه‌سازی جریان در یک مجرای گردابی استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از CFD می‌تواند تعداد آزمایشات را کاهش دهد. آنها همچنین مطالعه‌ای روی شبیه‌سازی جریان در سه نوع قطره‌چکان مختلف با هندسه مجاری متفاوت انجام دادند، نتایج این مطالعه نشان داد که مجرای مثلی نسبت به مجراهای مستطیلی و دوزنقه‌ای از نظر ایجاد افت فشار کارایی بالاتری دارد (۱۸). وی و همکاران (۱۹) در تحقیقی به شبیه‌سازی جریان درون قطره‌چکان‌های گردابی پرداختند و عنوان نمودند که افت فشار عمدتاً در حفره‌های مخروطی شکل مجاری اتفاق می‌افتد. وی و همکاران (۲۰) در تحقیقی با استفاده از مدل سه بعدی CAD و CFD، توزیع فشار و سرعت داخل مجاری قطره‌چکان‌ها را به صورت گرافیکی ارائه نمودند. نتایج نشان دادند که انحراف دبی به دست آمده از شبیه‌سازی و دبی اندازه‌گیری شده کمتر از پنج درصد بود. مقایسه هزینه‌ها نیز نشان داد که CFD باعث کاهش ۵۰ درصدی هزینه و زمان ساخت قطره‌چکان‌ها می‌گردد.

وانگ و همکاران (۱۶) در تحقیقی با استفاده از مدل ناپایدار و چند فاز VOF به شبیه‌سازی جریان غیر ماندگار در مجاری قطره‌چکان‌ها پرداختند. یان و همکاران (۲۲) برای آنالیز تأثیر زاویه دندان‌های مجرای قطره‌چکان‌ها بر جریان خروجی از قطره‌چکان‌ها از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) استفاده نمودند نتایج نشان داد زوایای بزرگتر دندان‌ها، تأثیر زیادی روی افزایش کارایی هیدرولیکی قطره‌چکان‌ها دارد. لی و همکاران (۸) در تحقیقی به بررسی تأثیر پارامترهای هندسی مجاری ماریچ قطره‌چکان‌ها روی کارایی هیدرولیکی و گرفتگی قطره‌چکان‌ها پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که فاصله بین دندان‌ها تأثیر معناداری روی مقدار نمای معادله دبی-فشار قطره‌چکان‌ها (x) جریان و قابلیت گرفتگی قطره‌چکان‌ها نداشتند همچنین مشخص گردید قابلیت گرفتگی قطره‌چکان‌ها به مقدار جریان قطره‌چکان‌ها بستگی نداشت اما به صورت معناداری تحت تأثیر شکل مجاری قطره‌چکان‌ها قرار داشت.



شکل ۲- تصویر قطره‌چکان B

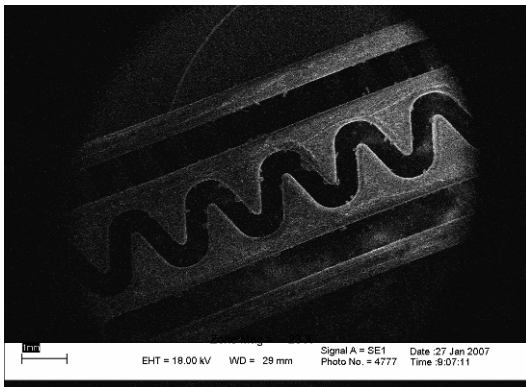


شکل ۱- تصویر قطره‌چکان A

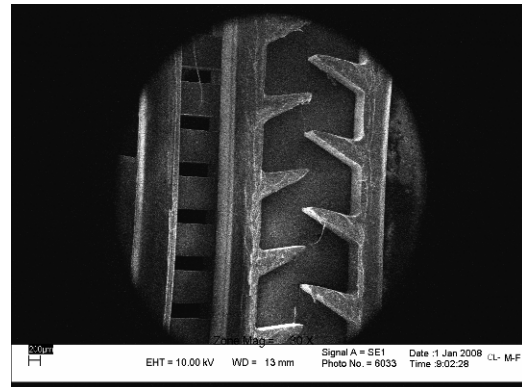
مساحت تصاویر مربوط به مجاری هر قطره چکان، اندازه مجاری آن ها تعیین گردید. پس از تعیین اندازه مجاری، شکل و هندسه آن ها توسط نرم افزار Solid work ترسیم شد که تصویر و اندازه های مربوط به مجاری در اشکال ۵ تا ۸ و جدول ۱ ارائه گردیده است. که در اشکال ۷ و ۸، d عمق جریان و w عرض جریان می باشد. همانگونه که در جدول ۱ مشخص می باشد اندازه مجاری دو قطره چکان A1 و A2 و سه قطره چکان B1، B2 و B3 یکسان می باشد.

تعیین اندازه مجاری قطره چکان ها

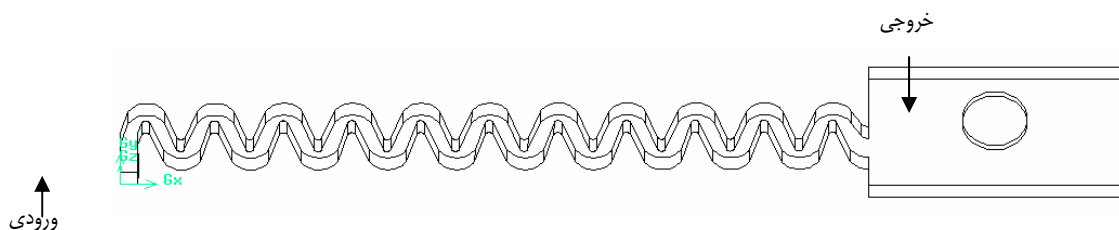
نمونه های قطره چکان های انتخابی، تخریب و چندین برش طولی و عرضی از مجاری عبور آب در آن ها تهیه گردید. برای تعیین اندازه مجاری، از برشهای تهیه شده عکسبرداری شد. بدین منظور از میکروسکوپ الکترونی^۱ (SEM) موجود در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید چمران اهواز استفاده گردید. تصاویر تهیه شده توسط SEM دارای بزرگ نمایی بین ۳۰ تا ۷۰ برابر بودند که دو نمونه از این تصاویر در اشکال ۳ و ۴، نمایش داده شده است. با میانگین گیری از



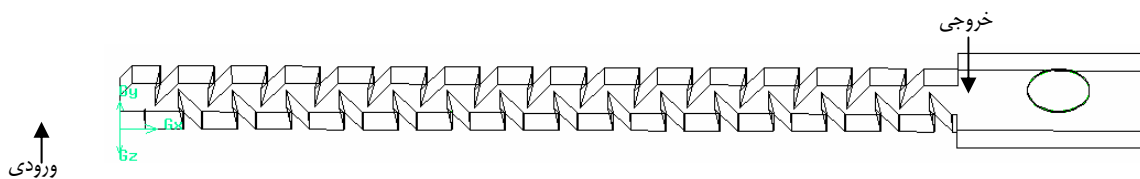
شکل ۴- تصویر پلان قطره چکان A توسط SEM



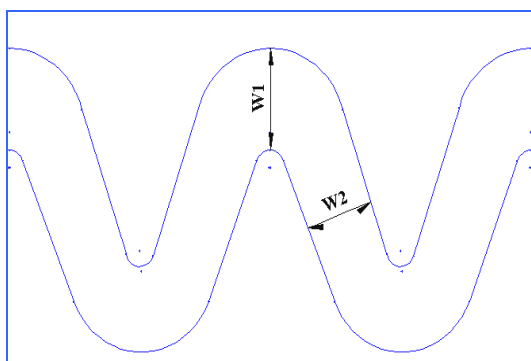
شکل ۳- تصویر پلان قطره چکان B توسط SEM



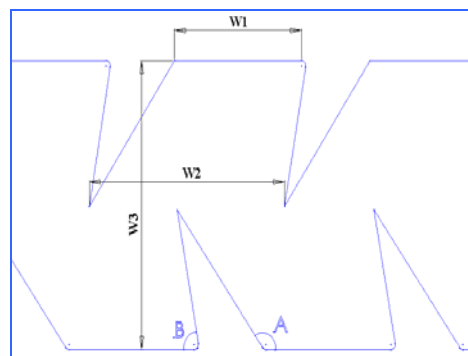
شکل ۵- شکل سه بعدی قطره چکان A ترسیم شده توسط نرم افزار Solid work



شکل ۶- شکل سه بعدی قطره چکان B ترسیم شده توسط نرم افزار Solid work



شکل ۸- شکل دو بعدی از یک واحد قطره چکان B



شکل ۷- شکل دو بعدی از یک واحد قطره چکان A

جدول ۱- ابعاد قطره چکان‌ها

نوع قطره چکان	d(mm)	W1(mm)	W2(mm)	W3(mm)	A (deg)	B (deg)
B3 و B2, B1	۰/۶۵۸	۰/۹۳۰	۱/۳۸۶	۱/۷۴۷	۱۲۴	۸۲
A1	۰/۶۲۷	۰/۵۱۴	۰/۵۶۰	—	—	—
A3 و A2	۰/۶۲۷	۰/۵۳۴	۰/۶۲۸	—	—	—

تشخیص رژیم جریان

برای تشخیص رژیم جریان، از عدد رینولدز استفاده می‌شود که به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$R_e = \frac{\rho VR}{\mu} \quad (۱)$$

که ρ ، دانسیته جریان (kg/m^3)، v متوسط سرعت جریان (m/s)، R شعاع هیدرولیکی جریان و μ لزجت سیال (kg/m.s) است. از آن جا که مقطع عرضی جریان، مستطیلی است، می‌توان R را از رابطه زیر به دست آورد:

$$R = \frac{wd}{2(w+d)} \quad (۲)$$

با تعیین شعاع هیدرولیکی قطره‌چکان‌ها، مقدار عدد رینولدز با فرض مقدار 998 kg/m^3 برای جرم مخصوص و 0.001003 kg/m.s برای لزجت در دبی‌های مختلف (۰/۶۴۴ تا $3/368$ لیتر بر ساعت)، بین ۵۷ تا ۴۰۱ متغیر می‌باشد. برای این بازه از عدد رینولدز، جریان می‌تواند آرام باشد. اما تعدادی از مطالعات از جمله فاهلر و همکاران (۱۴)، هارلی و همکاران (۲)، کاندالیکار (۵)، نشان دادند که تبدیل جریان از آرام به جریان آشفته در مجراهای با مساحت مقطع $1/0 \text{ mm}^2$ می‌تواند در عدد رینولدز بین ۱۰۰ تا ۷۰۰ رخ دهد. این بدان معنی است که بسته نوع هندسه مجرای قطره‌چکان‌ها جریان می‌تواند در یکی از اعداد ۱۰۰ تا ۷۰۰ نیز از وضعیت آرام به آشفته تبدیل گردد به عبارتی دیگر شاید در قطره چکانی جریان در عدد رینولدز ۱۵۰ نیز آشفته گردد. بنابراین در این مطالعه مسئله با هر دو فرض حل گردید.

معادلات حاکم بر جریان

مدل جریان آرام

معادله پیوستگی

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (۳)$$

معادله مومنتم

$$\rho \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_i} = -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} [\mu_e (\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i})] \quad (۴)$$

مدل جریان آشفته

برای حل جریانات آشفته علاوه بر معادلات پیوستگی و مومنتم، از معادلات کمکی دیگری نیز استفاده می‌گردد. از جمله این معادلات می‌توان به مدل‌های $k-\varepsilon$ ، مدل‌های $k-\omega$ و مدل تنش رینولدز (RSM) اشاره کرد (۱ و ۳). معمولاً برای اغلب محاسبات مهندسی از مدل $k-\varepsilon$ استاندارد استفاده می‌شود بنابراین در این مطالعه نیز مدل مذکور انتخاب شد. معادلات حاکم در این مدل عبارتند از:

معادله K

$$\rho \frac{\partial u_j k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} [\frac{\mu_e}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i}] + G_k - \rho \varepsilon \quad (۵)$$

معادله ε

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

$$\mu_e = \mu + \mu_t \quad (7)$$

$$\mu_t = \frac{C_\mu \rho K^2}{\varepsilon} \quad (8)$$

$$G_K = \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (9)$$

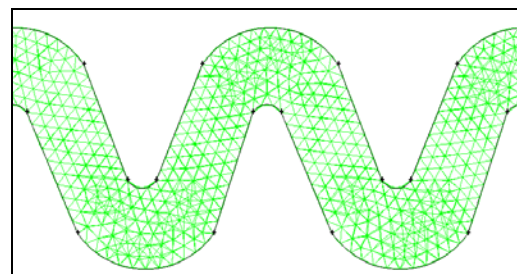
در معادلات (۹ تا ۱۳)، k انرژی سینتیک آشفتگی، ε سرعت اتلاف انرژی، u سرعت جریان، p فشار، x بردار مکان، ρ دانسیته سیال، μ لزجت سیال، μ_t لزجت گردابه‌ای، μ مجموع لزجت گردابه‌ای و لزجت سیال، A_μ ، $A_{\varepsilon 1}$ ، $A_{\varepsilon 2}$ ، σ_ε و σ_K ضرایب تصحیح هستند. ضرایب فوق بنا به پیشنهاد لاندر و اسپالدینگ به شرح زیر در نظر گرفته شده‌اند (۷):

$$A_\mu = 0.09, A_{\varepsilon 1} = 1.44, A_{\varepsilon 2} = 1.92, \sigma_K = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3$$

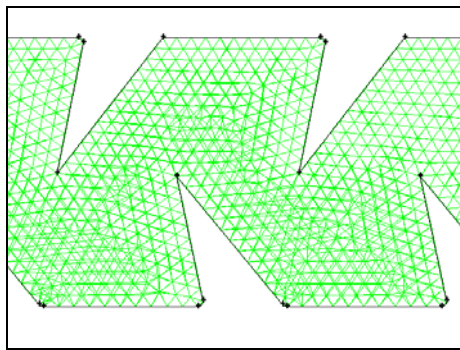
در این مسئله با توجه به کمی تأثیر وزن آب در مقایسه با تأثیر فشار آب، از تأثیر وزن آب و همچنین کشش سطحی آب صرف نظر گردید (۱۸). به علاوه آب ماده‌ای تراکم ناپذیر و جریان به صورت دایمی فرض شد. بردارهای سرعت در جداره‌ها صفر و فرض عدم لغزش در دیواره‌ها نیز لحاظ گردید.

حل مدل و شرایط مرزی

برای حل مدل‌های جریان آرام و آشفته $k-\varepsilon$ ، از نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی، FLUENT استفاده شد. برای این منظور هندسه مجرای عبور آب توسط نرم افزار Solid work ترسیم شده و جهت شبکه بندی وارد نرم افزار GAMBIT گردید که برای شبکه بندی از شبکه‌های چهار وجهی استفاده شد (اشکال ۹ و ۱۰). اطلاعات شبکه‌های استفاده شده در جدول ۲ ارائه شده است. برای شبکه بندی از شبکه‌های با اندازه‌های مختلف و ریزتر نیز استفاده شد که جواب حاصل از شبکه‌های ریزتر تفاوتی با جواب حاصل از شبکه‌های استفاده شده نداشتند تنها موجب افزایش زمان محاسبه و در نتیجه افزایش هزینه محاسباتی می‌گردیدند.



شکل ۹- شبکه ایجاد شده برای قطره چکان A



شکل ۱۰- شبکه ایجاد شده برای قطره چکان B

جدول ۲- مشخصات مش بندی قطره چکان‌ها

نوع قطره چکان	تعداد سلول‌ها	تعداد گره‌ها
B	۲۲۹۸۹۱	۵۱۹۳۳
C1	۲۰۱۴۳۶	۴۳۹۲۷
C3 و C2	۲۳۰۹۸۹	۵۰۰۵۲

شرایط مرزی که مورد استفاده قرار گرفتند عبارت بودند از:

- ۱- فشار در ورودی قطره‌چکان ثابت در نظر گرفته شد.
 - ۲- فشار در خروجی قطره‌چکان به دلیل تخلیه آب به اتمسفر برابر با صفر فرض شد.
 - ۳- بردارهای سرعت در جداره‌ها برای هر دو مدل آرام و آشفته صفر در نظر گرفته شد.
 - ۴- در ورودی مجرای قطره‌چکان مقدار k و ε به ترتیب $1 \text{ m}^2/\text{s}^2$ و $1 \text{ m}^2/\text{s}^3$ که پیش فرض نرم افزار بود در نظر گرفته شد البته با توجه به این که بلافاصله بعد از ورودی مجاری یک انحنای شدید وجود دارد، شرایط آشفتگی در نظر گرفته شده در ورودی به سرعت تغییر نموده و عملاً مقادیر دیگری که برای k و ε در نظر گرفته شد، تأثیری در جواب نهایی نداشت.
- همچنین لازم به ذکر است که در این شبیه‌سازی از تابع دیواره استاندارد استفاده گردید.

برای حل مدل ۶ فشار ۲، ۴، ۶/۱، ۹/۲، ۱۲/۲۵، و ۱۶/۳۳ متر ارتفاع آب انتخاب شدند تا هم حداقل تعداد فشارهای اعمالی (۴ فشار) و هم حداکثر فاصله گام‌های فشاری (۵۰ kPa) ذکر شده در استاندارد Iso9261 رعایت گردد. همچنین بر اساس استاندارد ذکر شده بازه فشار اعمالی به قطره چکان‌ها باید از صفر تا حداقل $1/2 P_{max}$ باشد که P_{max} حداثر فشار پیشنهاد شده توسط کارخانه سازنده می‌باشد. که برای قطره چکان‌های مورد آزمایش $1/2 P_{max}$ کمتر از ۱۰ متر ارتفاع آب می‌باشد. اعشاری بودن اعداد نیز به دلیل تبدیل واحد بار به متر ارتفاع آب می‌باشد

دبی متناظر با هر فشار بر اساس دو مدل آرام و آشفته محاسبه و

نحوه توزیع سرعت و فشار جریان در قطره چکان‌ها نیز مشخص گردید.

استفاده گردید.

ضریب تغییرات ساخت قطره چکان (CV)

در شرایط فشار یکسان دبی خروجی از قطره چکان‌های ساخت یک کارخانه که حتی تحت عنوان یک مدل تولید شده اند متفاوت است. این ویژگی با ضریب تغییرات ساخت (CV) مشخص می‌شود. که از رابطه (۲-۴) زیر محاسبه می‌گردد.

$$C_V = \frac{S_q}{q} \quad (13)$$

$$q = \frac{1}{n} \sum q_i \quad (14)$$

که q: آبدهی قطره چکان، n: تعداد قطره چکان‌های نمونه، q_i: آبدهی قطره چکان از شماره ۱ تا n، S_q: انحراف معیار دبی‌های قطره چکان C_V: ضریب تغییرات ساخت قطره چکان می‌باشد.

دبی به دست آمده از سه مدل آزمایشگاهی، آرام و آشفته به ترتیب در جداول ۳ تا ۵، ارائه و نحوه توزیع سرعت و فشار جریان نیز در شکل‌های ۱۲ تا ۲۱، نشان داده شده است. تمام این اشکال نتایج حاصل از فشار ۱۶/۳۳ متر و مدل آشفته می‌باشد.

اشکال ۱۲ و ۱۳، توزیع فشار جریان درون مجرای قطره چکان‌ها را نمایش می‌دهد. با توجه به این اشکال و مقیاس فشاری مندرج در آن‌ها، مشخص می‌گردد که افت در هر واحد قطره چکان یکسان است و فشار در طول مجاری قطره چکان‌ها به صورت خطی کاهش می‌یابد تا در خروجی به مقدار صفر می‌رسد. البته این مطلب در فایل نرم افزاری قابل اندازه‌گیری است. افت فشار در اثر ورودی و خروجی قطره چکان‌ها ناچیز و قسمت اعظم فشار در طول مسیر مستهلک می‌شود.

در اشکال ۱۴ و ۱۵، توزیع فشار درون یک واحد از قطره چکان، با بزرگنمایی مناسبی ارائه شده است تا جزئیات بیشتری از نحوه توزیع فشار قابل مشاهده باشد. که نشان می‌دهند تغییرگرادیان فشاری عمدتاً در گوشه‌های مجاری اتفاق می‌افتد و هنگامی که جریان به گوشه‌ها می‌رسد، جریان تغییر جهت می‌دهد و افت موضعی زیادی در اثر این امر اتفاق می‌افتد، که عمده ترین دلیل استهلاک انرژی هیدرولیکی است.

با توجه به اشکال ۱۶ و ۱۷، مشخص است که توزیع سرعت در تمام واحدها به جز ورودی و خروجی قطره چکان‌ها به دلیل متفاوت بودن هندسه آن‌ها، یکسان می‌باشد. در منطقه مستطیل شکل هر دو قطره چکان (خروجی قطره چکان‌ها)، در نزدیکی دیواره‌ها مخصوصاً اطراف گوشه‌ها جریان به حالت سکون در می‌آید که محل مناسبی برای ته نشست و رسوب ذرات می‌باشد. رسوب ذرات در این نواحی و پل بندی آن‌ها در خروجی قطره چکان‌ها ممکن است منجر به انسداد

صحت سنجی

به منظور صحت سنجی نتایج حاصله از مدل، قبل از تخریب قطره چکان‌ها تعدادی آزمایش برای تعیین رابطه دبی و فشار قطره چکان‌ها براساس ضوابط ارائه شده در استاندارد ISO9261 صورت گرفت. فشارهای کارکرد قطره چکان‌ها همان شش فشار مورد استفاده در حل مدل بودند. برای اعمال فشارهای ۲ و ۴ متر از سیستم فشار ثابت (متشکل از یک بالابر هیدرولیکی مجهز به یک مخزن آب که توانایی ایجاد فشار تا ۵ متر ارتفاع آب را دارد) موجود در آزمایشگاه آبیاری تحت فشار دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز و برای بقیه فشارها از یک الکتروپمپ استفاده گردید. که تصویر آن در شکل ۱۱، ارائه شده است. هر آزمایش در سه تکرار انجام و هر تکرار به مدت ۳۰ دقیقه به طول انجامید. مقدار آب خروجی از قطره چکان‌ها توسط بشرهای مدرج اندازه‌گیری و دبی قطره چکان‌ها در فشارهای مختلف، با میانگین‌گیری از نتایج سه تکرار تعیین گردید.

رابطه دبی - فشار

رابطه دبی - فشار توسط معادله ذیل بیان می‌شود (۶).

$$q = kh^x \quad (10)$$

که q دبی جریان، k ضریب معادله دبی، x نمای معادله دبی و h فشار می‌باشد. مقدار x میزان حساسیت دبی قطره چکان به تغییرات فشار را نشان می‌دهد. هر چه میزان x کمتر باشد مقدار دبی کمتر تحت تأثیر تغییرات فشار قرار می‌گیرد. بنابراین قطره چکان‌هایی که دارای مقدار x کمتری باشند، نسبت به قطره چکان‌هایی که x بزرگتری دارند مناسب‌ترند.

شیوه مقایسه نتایج

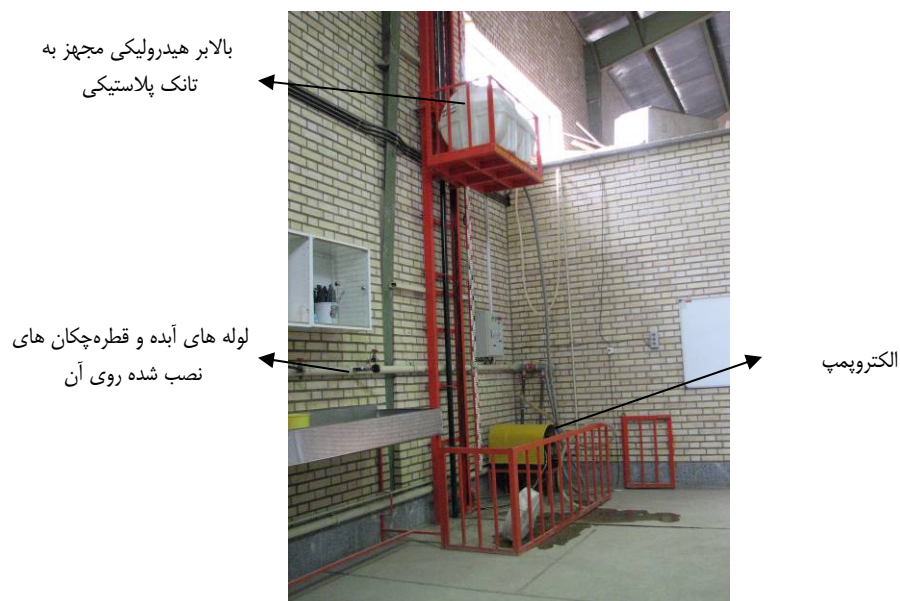
برای مقایسه دو به دو نتایج حاصل از سه مدل از برآزش رگرسیونی زیر استفاده شد.

$$Y = \lambda X \quad (11)$$

که X و Y مقادیر حاصل از هر یک از مدل‌ها و λ، شیب بهترین خط برآزش داده شده می‌باشد. λ < 1 نشان دهنده مقادیر کمتر Y نسبت به X و λ > 1 نشان دهنده مقادیر بیشتر Y نسبت به مقادیر X می‌باشد. مقدار درصد متوسط خطای پیش بینی (E_r) توسط رابطه زیر بیان می‌گردد:

$$E_r = |(1 - \lambda)| \times 100 \quad (12)$$

علاوه بر این از آزمون مقایسه میانگین‌ها نیز برای مقایسه مدل‌ها



شکل ۱۱- سیستم آبرسانی به قطره چکان ها

جدول ۳- دبی به دست آمده از قطره چکان های مختلف در آزمایشگاه (L/hr)

نوع قطره چکان						فشار (mH ₂ O)
B3	B2	B1	A3	A2	A1	
۰/۶۴۷	۰/۶۴۷	۰/۶۴۴	۱/۱۵۵	۱/۱۵۴	۱/۱۵۲	۲
۰/۹۱۷	۰/۹۱۵	۰/۹۱۵	۱/۷۰۲	۱/۷۱۳	۱/۶۸۸	۴
۱/۱۰۹	۱/۱۰۶	۱/۱۰۹	۲/۰۷۰	۲/۱۱۲	۲/۰۵۴	۶/۱
۱/۳۲۲	۱/۳۲۰	۱/۳۳۱	۲/۳۹۷	۲/۴۱۰	۲/۳۹۰	۹/۲
۱/۵۵۸	۱/۵۵۰	۱/۵۵۴	۲/۸۷۶	۲/۸۷۳	۲/۸۴۶	۱۲/۲۵
۱/۷۴۴	۱/۷۳۸	۱/۷۳۵	۳/۳۶۸	۳/۳۶۲	۳/۳۱۲	۱۶/۳۳

جدول ۴- دبی حاصل از قطره چکان های مختلف* توسط آرام (L/hr)

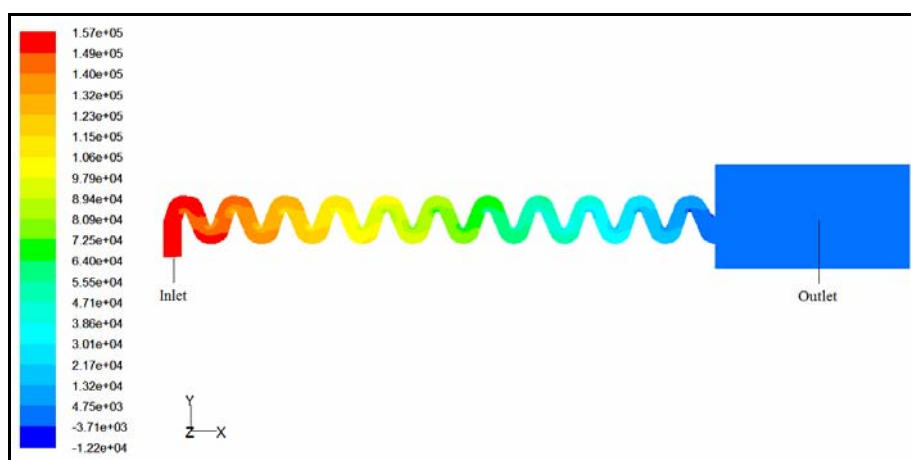
نوع قطره چکان			فشار (mH ₂ O)
B1, B2, B3	A3, A2	A1	
۰/۶۳۷	۱/۱۱۷	۱/۰۷۶	۲
۰/۸۹۶	۱/۵۸	۱/۵۴۶	۴
۱/۱۱۹	۰/۹۵۳	۰/۹۰۸	۶/۱
۱/۳۸۷	۲/۴۰۸	۲/۳۲۹	۹/۲
۱/۶۰۵	۲/۸۰۷	۲/۶۷۵	۱۲/۲۵
۲/۸۷۴	۳/۲۲۰	۳/۰۷۰	۱۶/۳۳

*از آنجاییکه مجاری دو قطره چکان A1 و A2 و سه قطره چکان B1، B2 و B3 یکسان می باشد لذا نتایج شبیه سازی دو قطره چکان A1 و A2 و سه قطره چکان B1، B2 و B3 یکسان می باشد

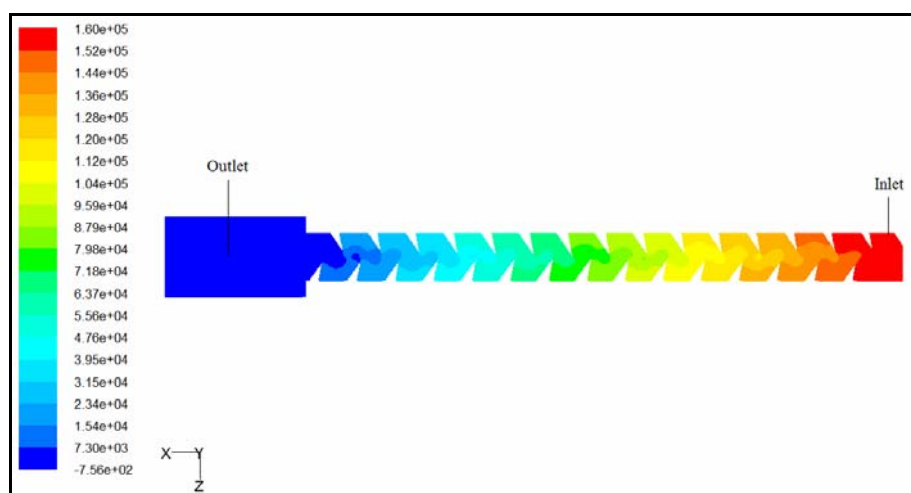
جدول ۵- دبی حاصل از قطره چکان‌های مختلف* توسط مدل آشفته (L/hr)

نوع قطره چکان	فشار (mH ₂ O)		
	B1, B2, B3	A3, A2	A1
	۰/۶۶۸	۱/۱۶۶	۱/۱۰۶
	۰/۹۴۸	۱/۷۳۱	۱/۶۴۵
	۱/۱۷۸	۲/۱۶	۲/۰۶۲
	۱/۴۵۰	۲/۶۷۰	۲/۵۶۵
	۱/۶۸۸	۳/۰۹۷	۳/۹۹۸
	۱/۹۴۶	۳/۵۸۰	۳/۴۵۶

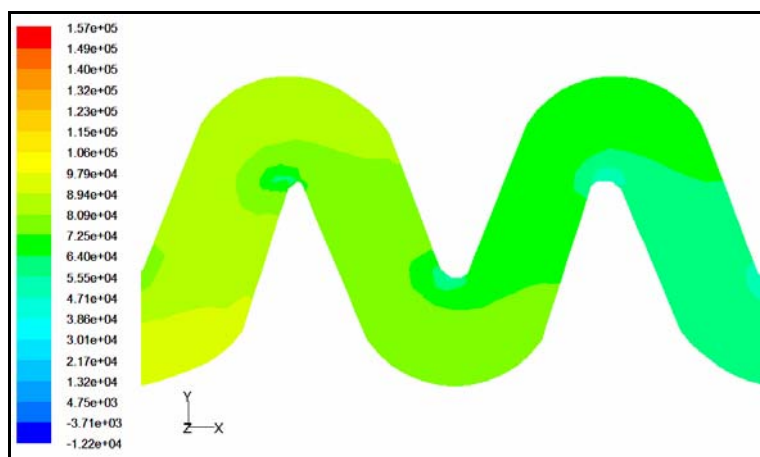
*از آنجاییکه مجاری دو قطره چکان A1 و A2 و سه قطره چکان B1، B2 و B3 یکسان می‌باشد لذا نتایج شبیه‌سازی دو قطره چکان A1 و A2 و سه قطره چکان B1، B2 و B3 یکسان می‌باشد



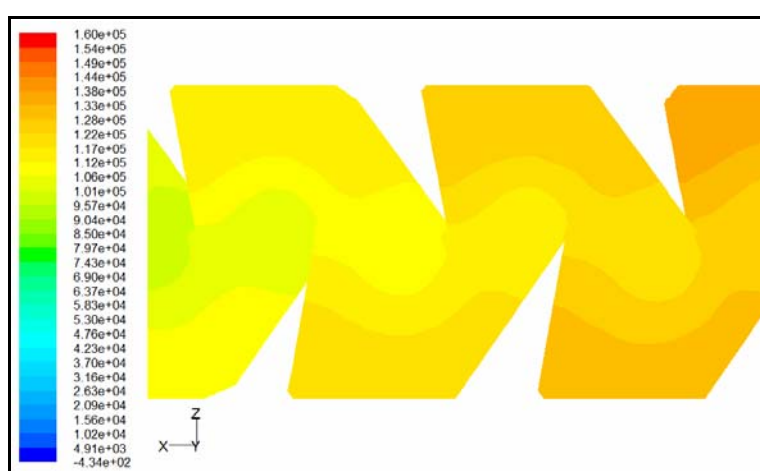
شکل ۱۲- توزیع فشار جریان درون مجرای قطره چکان A1، حاصل از مدل آشفته تحت فشار ۱۶/۳۳ متر ارتفاع آب



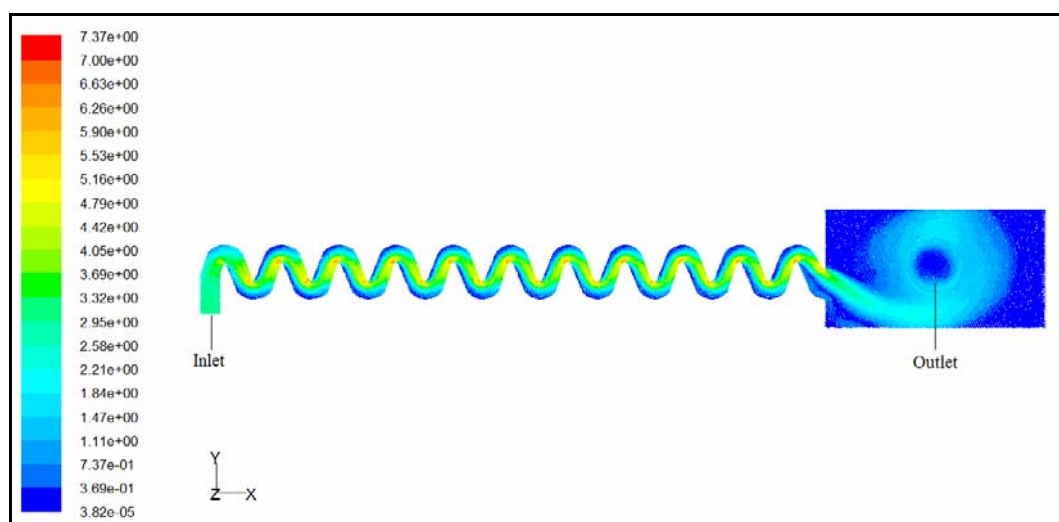
شکل ۱۳- توزیع فشار جریان درون مجرای قطره چکان B، حاصل از مدل آشفته تحت فشار ۱۶/۳۳ متر ارتفاع آب



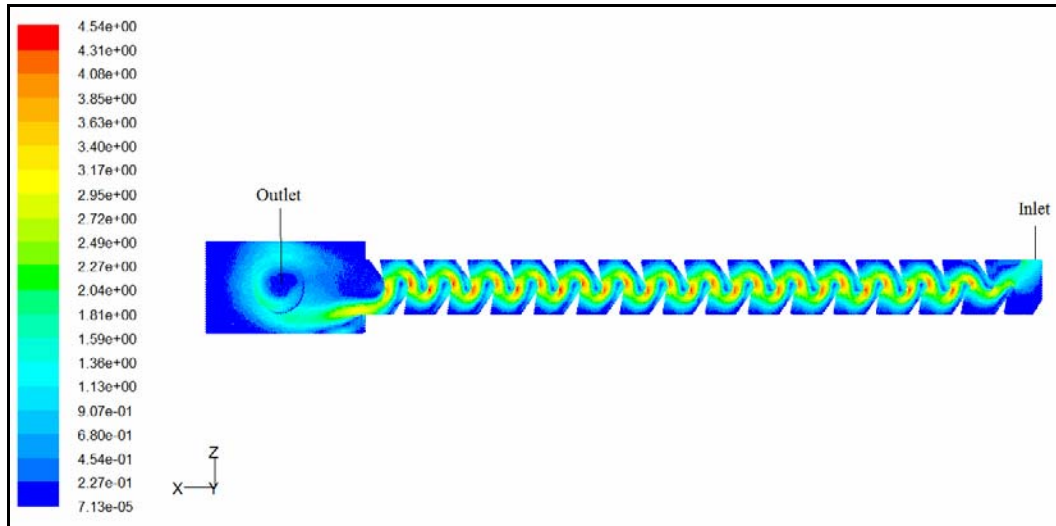
شکل ۱۴- توزیع فشار جریان در یک واحد قطره چکان A1، حاصل از مدل آشفته تحت فشار ۱۶/۳۳ متر ارتفاع آب



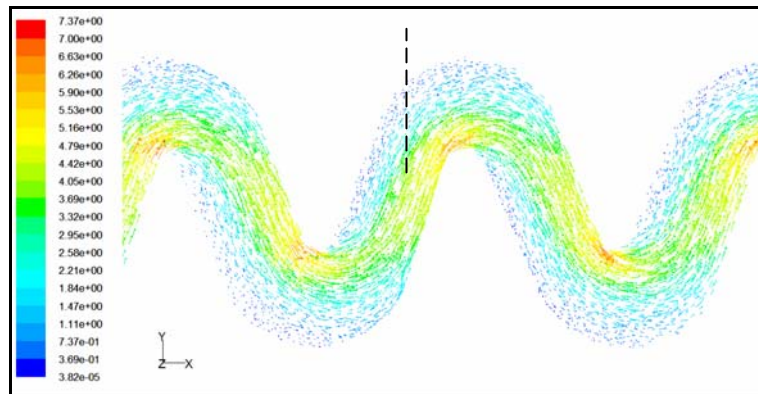
شکل ۱۵- توزیع فشار جریان در یک واحد قطره چکان B، حاصل از مدل آشفته تحت فشار ۱۶/۳۳ متر ارتفاع آب



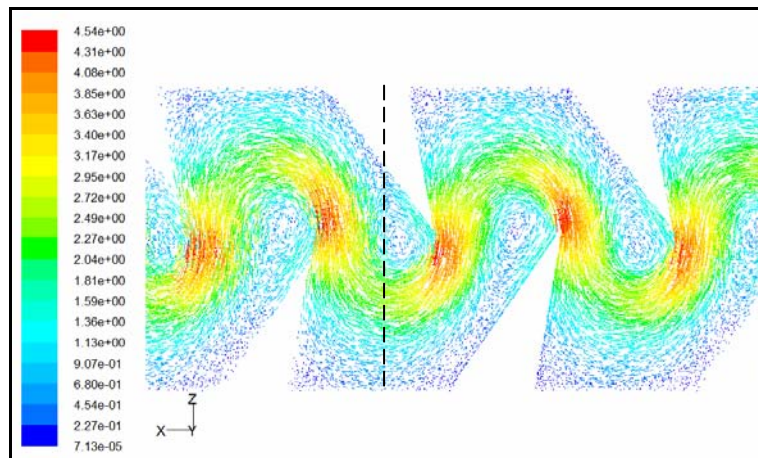
شکل ۱۶- توزیع سرعت جریان در یک واحد قطره چکان A1، حاصل از مدل آشفته تحت فشار ۱۶/۳۳ متر ارتفاع آب



شکل ۱۷- توزیع سرعت جریان در مجرای قطره‌چکان B، حاصل از مدل آسفته تحت فشار ۱۶/۳۳ متر ارتفاع آب



شکل ۱۸- توزیع سرعت جریان در یک واحد قطره‌چکان A1، حاصل از مدل آسفته تحت فشار ۱۶/۳۳ متر ارتفاع آب



شکل ۱۹- توزیع سرعت جریان در یک واحد قطره‌چکان B، حاصل از مدل آسفته تحت فشار ۱۶/۳۳ متر ارتفاع آب

هلالی شکل کم سرعت شکل گرفته است که ناحیه مستعد برای انباشته شدن ذرات است که ممکن است نهایتاً منجر به گرفتگی قطره‌چکان گردد. توزیع سرعت در قطره‌چکان B (شکل ۱۹) نیز

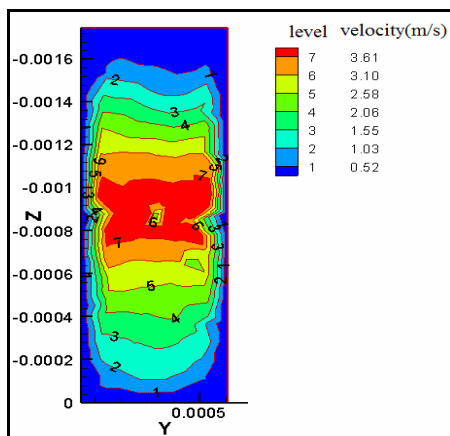
شکل ۱۸ نیز توزیع سرعت درون یک واحد قطره‌چکان A را نمایش می‌دهد همانگونه که از این شکل پیداست، سرعت جریان نزدیک قوس کوچکتر، حداکثر و نزدیک قوس بزرگتر یک ناحیه

قطره چکان تاثیر گذاشته است.

با توجه به مطالبی که در مورد توزیع سرعت بیان شد، به نظر می‌رسد که قطره چکان A نسبت به قطره چکان B دارای حساسیت کمتری برای گرفتگی باشد و برای قطره چکان B اگر گوشه‌های آن‌ها حذف و به صورت منحنی ساخته شوند وسعت نواحی کم سرعت، کمتر و در نتیجه احتمال گرفتگی آن‌ها کاهش یابد. لازم به ذکر است اشکال ۱۲ تا ۲۱ مربوط به نتایج حاصل از مدل آشفته می‌باشد که هیچ تفاوتی با نتایج حاصل از مدل آرام ندارند.

تعیین معادله دبی - فشار و ضریب تغییرات ساخت قطره چکان‌ها

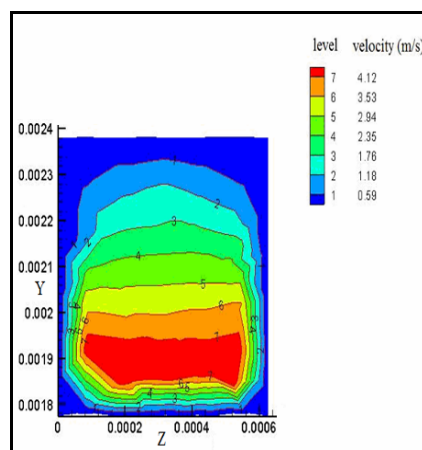
رابطه دبی و فشار برای داده‌های به دست آمده از آزمایشگاه و نرم‌افزار توسط یک رگرسیون خطی چند متغیره تعیین گردید. در تعیین معادله فشار و دبی اندازه‌گیری شده برای قطره چکان‌های B1، B2، B3 و قطره چکان‌های A1 و A2 از میانگین دبی آن‌ها استفاده شد. ضرایب معادله دبی-فشار برای هر دو نوع قطره چکان و مدل‌های آزمایشگاهی، آرام و آشفته در جدول ۶ داده شده است. با توجه به رابطه‌های ۱۳ و ۱۴، ضریب تغییرات ساخت برای هر دو قطره چکان بر اساس نتایج هر سه مدل در ۵ فشار مورد آزمایش محاسبه گردید و میانگین Cv در جدول ۷ ارائه گردید. همانگونه که در این جدول مشخص است به دلیل یکسان بودن ابعاد هر سه قطره چکان B، محاسبه مقدار Cv برای این قطره چکان از نتایج مدل‌های آرام و آشفته امکان پذیر نیست. لازم به ذکر است طبق استاندارد ISO9261 برای محاسبه Cv لازم است از هر نوع قطره چکان حداقل ۲۵ نمونه مورد آزمایش قرارگیرد بنابراین نتایج بدست آمده برای Cv در این مقاله، به دلیل کم بودن نمونه‌ها ارزشمند نمی‌باشد.



شکل ۲۱- توزیع سرعت در مقطع عرضی قطره چکان B، حاصل از مدل آشفته تحت فشار ۱۶/۳۳ متر ارتفاع آب

نشان می‌دهد که جریان یک مسیر s شکلی را درون هر واحد این قطره چکان طی می‌کند. در مقطعی که سطح مقطع جریان کاهش می‌یابد انرژی جنبشی افزایش یافته و باعث تشکیل گردابه‌های نسبتاً بزرگی می‌گردد. در مورد قطره چکان A، گردابه‌های تشکیل شده بسیار ریزتر بوده و بیشتر بعد از قوس کوچکتر تشکیل می‌گردد. این گردابه‌ها تلفات انرژی جنبشی را افزایش می‌دهند. به این صورت که گردابه‌های کوچک انرژی جنبشی خود را از گردابه‌های کمی بزرگتر و این گردابه‌ها نیز، انرژی جنبشی خود را از گردابه‌های بزرگتر از خود دریافت می‌کنند. این روند ادامه پیدا می‌کند تا در نهایت بزرگترین گردابه‌ها، انرژی جنبشی خود را از جریان می‌گیرند و باعث اتلاف انرژی جریان آب می‌گردند. بنابراین انرژی جنبشی به طور مستقیم روی راندمان تلفات انرژی هیدرولیکی تأثیر دارد و سرعت جریان در طول مسیر و در نتیجه مقدار دبی را تعیین می‌کند. با توجه به اندازه گردابه‌های می‌توان گفت قطره چکان B در طول کمتری افت فشار بیشتری تولید میکند، همین امر باعث گردیده است که قطره چکان A با وجود مجاری کوچکتر نسبت به قطره چکان B، دبی بالاتری نسبت به آن داشته باشد. با توجه به مطالب ذکر شده، وجود این گردابه‌ها می‌تواند یکی از دلایل گرفتگی قطره چکان‌ها باشد بنابراین با توجه به شدت و اندازه‌های گردابه‌های تشکیل شده در دو قطره چکان، احتمالاً خطر گرفتگی در مورد قطره چکان A نسبت به قطره چکان B کمتر می‌باشد.

توزیع سرعت در مقطع عرضی قطره چکان‌ها (اشکال ۲۰ و ۲۱) نمایش داده شده است. محل صفحه برش برای نمایش توزیع سرعت در مقطع عرضی در اشکال ۱۸ و ۱۹، با یک خط منقطع نشان داده شده است. این اشکال نشان می‌دهد که، توزیع سرعت در قطره چکان B و A تقریباً متقارن می‌باشد خط تقارن برای قطره چکان B به صورت افقی و برای قطره چکان A به صورت قائم می‌باشد زوایای تیز مجرای قطره چکان B تا حدودی روی تقارن توزیع سرعت در این



شکل ۲۰- توزیع سرعت در مقطع عرضی قطره چکان A1، حاصل از مدل آشفته تحت فشار ۱۶/۳۳ متر ارتفاع آب

جدول ۶- مقادیر ضرایب رابطه دبی - فشار قطره چکان ها، به دست آمده از سه مدل

مدل	قطره چکان	x	k	R ²
آزمایشگاهی	A1	۰/۴۹۱	۰/۸۳۲	۰/۹۹
	A2, A3	۰/۴۹۵	۰/۸۳۵	۰/۹۹
	B1, B2, B3	۰/۴۷۲	۰/۴۷۰	۰/۹۹
آرام	B1, B2, B3	۰/۵۱۵	۰/۴۴۳	۰/۹۹
	A1	۰/۴۹۸	۰/۷۶۹	۱/۰۰
	A2, A3	۰/۵۰۶	۰/۷۶۹	۱/۰۰
آشفته	B1, B2, B3	۰/۵۱۰	۰/۴۶۸	۰/۹۹
	A1	۰/۵۴۳	۰/۷۶۸	۰/۹۹
	A2, A3	۰/۵۳۳	۰/۸۱۵	۰/۹۹

میانگین نتایج بدست آمده برای دو قطره چکان استفاده شد به عبارتی دیگر میانگین نتایج قطره چکان های A1، A2 و A3 با عنوان قطره چکان A و میانگین نتایج سه قطره چکان B1، B2 و B3 با عنوان قطره چکان B ارائه شده است (جدول ۸). در این نمودارها خط پر نشانگر خط رگرسیون و خط چین نشانگر خط ۴۵ درجه است گردند باید در حالت ایده آل یعنی در حالتی که خط وجود نداشته باشد نقاط حاصل از مقایسه بر روی یک خط ۴۵ درجه قرار بگیرند که از مبدا میگذرد. بنابراین برای محاسبه خط لازم است خط برازش داده شده نیز از مبدا مختصات عبور کرده و بدون عرض از مبدا باشد. انحراف خط رگرسیون از خط منقطع، مقدار درصد متوسط خطای پیش بینی (E_r) را نشان می دهد. ضرایب مربوط به مقایسه نتایج در جدول ۹ ارائه شده است. در شکل ۲۲ نمودارهای اسکاتر پلات مربوط به مقایسه دو به دو نتایج هر سه مدل، نمایش داده شده است.

جدول ۷- مقادیر Cv برای هر دو نوع قطره چکان و مدل های آزمایشگاهی، آرام و آشفته بر حسب درصد

قطره چکان	آزمایشگاه	مدل آرام	مدل آشفته
A	۱/۴	۱/۳	۱/۵
B	۰/۹	—	—

مقادیر x و k معادله دبی و فشار ذکر شده در جدول نشان می دهد که مقدار x برای قطره چکان های A و B حدود ۰/۵ می باشد از آنجاییکه طبق نظر سینوباس و همکاران (۱۵) قطره چکان هایی که مقدار x آنها حدود ۰/۵ می باشد جزء قطره چکان های با جریان آشفته طبقه بندی می شوند، لذا می توان هر دو قطره چکان را از این نظر جزء قطره چکان های با جریان آشفته لحاظ نمود. نتایج حاصل از سه مدل بر اساس روابط ۱۳ و ۱۴ و توسط نمودارهای اسکاتر پلات با هم مقایسه شدند. برای این منظور از

جدول ۸- میانگین دبی حاصل از سه مدل (L/hr)*

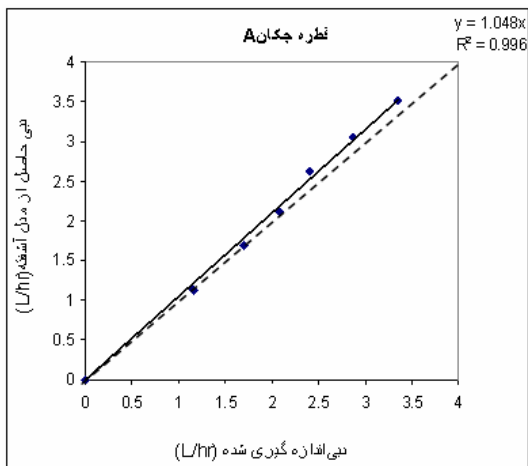
فشار (mH ₂ O)	آزمایشگاه		مدل آرام		مدل آشفته	
	B	A	B	A	B	A
۲	۱/۱۵۴	۰/۶۴۶	۱/۰۹۷	۰/۶۳۷	۱/۱۳۶	۰/۶۶۸
۴	۱/۷۰۱	۰/۹۱۶	۱/۵۶۳	۰/۸۹۶	۱/۶۸۳	۰/۹۴۸
۶/۱	۲/۰۷۹	۱/۱۰۸	۱/۹۳۱	۱/۱۱۹	۲/۱۱۱	۱/۱۷۸
۹/۲	۲/۳۹۹	۱/۳۳۴	۲/۳۶۹	۱/۳۸۷	۲/۶۱۸	۱/۴۵۰
۱۲/۲۵	۲/۸۶۵	۱/۵۵۴	۲/۷۴۱	۱/۶۰۵	۳/۰۴۸	۱/۶۸۸
۱۶/۳۳	۳/۳۴۷	۱/۷۳۹	۳/۱۴۵	۲/۸۷۴	۳/۵۱۸	۱/۹۴۶

* میانگین نتایج قطره چکان های A1، A2 و A3 با عنوان قطره چکان A و میانگین نتایج سه قطره چکان B1، B2 و B3 با عنوان قطره چکان B ارائه شده است

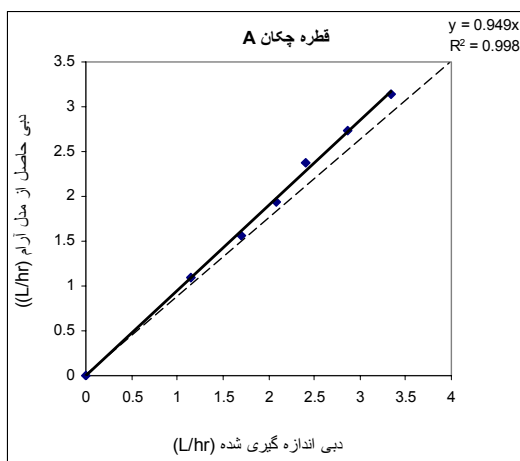
جدول ۹- مقادیر E_r (درصد متوسط خطای پیش بینی) و λ (شیب بهترین خط برازش داده شده) حاصل از مقایسه میانگین نتایج سه مدل برای هر

دو نوع قطره چکان

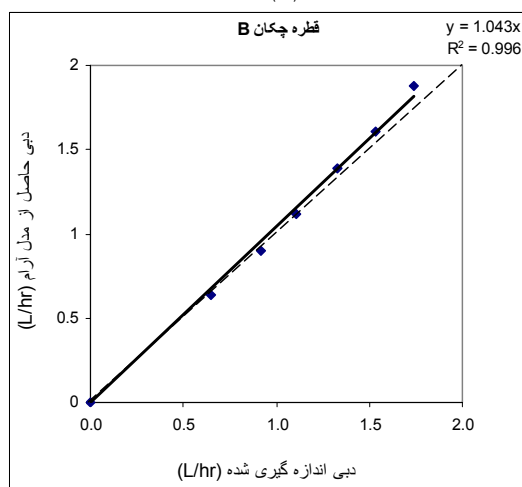
B		A		قطره چکان
E _r	λ	E _r	λ	ضرایب رگرسیون
۴/۳	۱/۰۴۳	۵/۱	۰/۹۴۹	آزمایشگاه - آرام
۹/۲	۱/۰۹۲	۴/۸	۱/۰۴۸	آزمایشگاه - آشفته
۴/۵	۰/۹۵۵	۹/۵	۰/۹۰۵	آشفته - آرام



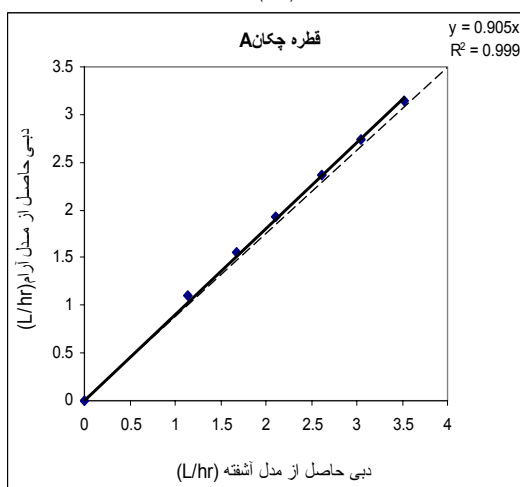
(ب)



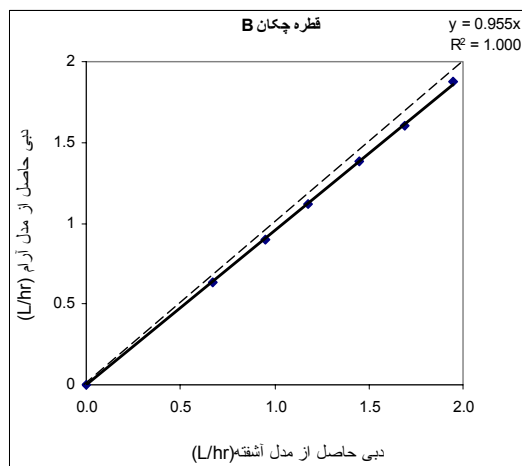
(الف)



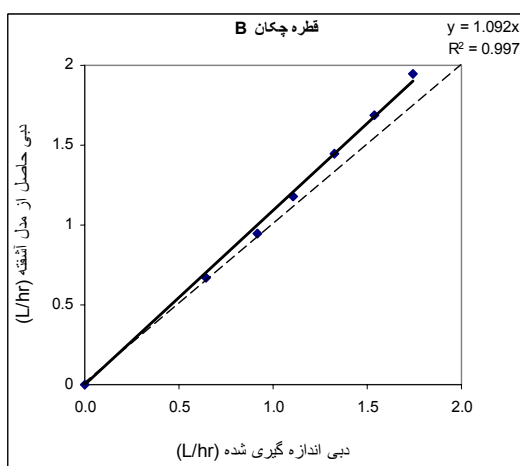
(ت)



(پ)



(د)



(د)

شکل ۲۲- مقایسه دو به دو نتایج حاصل از سه مدل آرام، آشفته و آزمایشگاه برای میانگین نتایج قطره چکان های A1، A2 و A3 با عنوان قطره چکان A و میانگین نتایج سه قطره چکان B1، B2 و B3 با عنوان قطره چکان B
 خط پر نشانگر خط رگرسیون و خط چین نشانگر خط ۴۵ درجه و نقاط محل تلاقی دبی قطره چکان توسط دو مدل مورد مقایسه در فشارهای مختلف می باشد.

نتیجه گیری

فشار در طول مسیر، از قسمت ورودی تا خروجی قطره‌چکان‌ها به طور یکنواختی کاهش می‌یابد تا در خروجی به مقدار صفر می‌رسد و افت فشار در اثر ورودی و خروجی قطره‌چکان‌ها ناچیز و قسمت اعظم فشار در طول مسیر مستهلک می‌شود. تغییرگرادیان فشاری عمدتاً در گوشه‌های مجاری به دلیل تغییر جهت جریان اتفاق می‌افتد که عمده ترین دلیل استهلاک انرژی هیدرولیکی می‌باشد. در مورد قطره‌چکان‌های B در گوشه‌ها، گردابه‌های نسبتاً بزرگی تشکیل شده‌اند. این گردابه‌ها تلفات انرژی جنبشی را افزایش می‌دهند و باعث اتلاف انرژی می‌گردند. ممکن است این گردابه‌ها یکی از دلایل گرفتگی قطره‌چکان‌ها باشند. در مورد هر دو نوع قطره‌چکان، در گوشه‌ها و نزدیک دیواره‌ها، نواحی کم سرعتی تشکیل می‌شود که محل مناسبی برای ته نشست و رسوب ذرات وارد شده به قطره‌چکان می‌باشند که این امر ممکن است نهایتاً منجر به گرفتگی قطره‌چکان‌ها گردد. قطره‌چکان A، نسبت قطره‌چکان B مشکل کمتری در این زمینه خواهد داشت. مقایسه نتایج مدل آشفته و آرام با یکدیگر نشان می‌دهد که مدل آرام مقدار دبی را برای هر دو نوع قطره‌چکان نسبت به مدل آشفته کمتر برآورد نموده است. به طور کلی می‌توان گفت هر دو مدل آرام و آشفته که توسط نرم افزار FLUENT حل شده‌اند با دقت خوبی قادر به پیش بینی جریان داخل مجاری قطره‌چکان‌های مورد مطالعه می‌باشند بنابراین می‌توان نتیجه گرفت نرم افزار FLUENT نرم افزاری کارا برای شبیه سازی و مطالعه هیدرولیک جریان درون مجاری قطره‌چکان‌های مورد مطالعه می‌باشد.

از جدول ۹ مشخص است که برای قطره‌چکان A مدل آرام مقدار دبی را کمتر از مقدار واقعی و برای قطره‌چکان B بیشتر از آن برآورد کرده است مقدار E_r مدل آرام برای هر دو قطره‌چکان تقریباً یکسان و برابر حدود ۵ درصد می‌باشد مدل آشفته مقدار دبی را برای هر دو قطره‌چکان بیشتر از مقدار واقعی برآورد نموده است اختلاف نتایج مدل آشفته نسبت به نتایج آزمایشگاه برای قطره‌چکان A تقریباً مشابه مدل آرام، برابر با ۴/۹ درصد و برای قطره‌چکان B برابر ۹/۲ درصد می‌باشد.

مقایسه نتایج مدل آشفته و آرام با یکدیگر نشان می‌دهد که مدل آرام مقدار دبی را برای هر دو نوع قطره‌چکان نسبت به مدل آشفته کمتر برآورد نموده است. که منطقی نیز می‌باشد زیرا جریان آشفته، تبادل مومنتم را در لایه های مرزی افزایش می‌دهد. ولی با توجه به خطای شبیه‌سازی ذکر شده در جدول ۹ که نشان از خطای یکسان دو مدل آرام و آشفته در برآورد دبی دارد نمی‌توان به راحتی نتیجه گرفت که جریان در قطره‌چکان، آرام است یا متلاطم. با این وجود از آنجایی که دو مدل خطای یکسانی در برآورد دبی داشته‌اند، شاید بتوان نتیجه گرفت که جریان در این مجاری در حالت بینابینی بوده است.

برای مقایسه نتایج سه مدل از آزمون آماری مقایسه میانگین‌ها نیز استفاده گردید که توسط نرم‌افزار SPSS انجام گردید که نشان داد تفاوت بین نتایج مدل‌های آرام و آشفته برای هر دو قطره‌چکان و نتایج مدل آزمایشگاه و آرام برای قطره‌چکان A در سطح ۵ درصد معنادار است ولی تفاوت نتایج مدل‌های آشفته و آزمایشگاه برای هر دو قطره‌چکان و همچنین نتایج مدل آزمایشگاه و آرام برای قطره‌چکان B در این سطح معنادار نیست.

منابع

- 1- FLUENT 6.2. 2005. User's Guide
- 2- Harley J.C., Huang Y.F., Bau H. 1995. Gas flow in micro channels. Fluid Mech. 284. 257-274.
- 3- Hinze J.O. 1975. Turbulence. McGraw-Hill Publishing Co. New York.
- 4- International Standards Organization (ISO). 2004. Agricultural Irrigation Equipment – Emitters – Specification and Test Methods [N]. International Standards Organization (ISO). p.9261.
- 5- 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 Eng. 24 (3): 4-16.
- 6- Keller J., and Blaisner R.D. 1990. Sprinkle and Trickle Irrigation. New York. USA:champan and Hall.
- 7- Launder B.E., and Spalding D.B. 1974. The numerical computation of turbulent flow. Comput. Meth. Appl. Mech. 3. 269.
- 8- Li G.Y., Wang G.D., Alam M., Zhao Y.F. 2006. Influence of geometrical parameters of labyrinth flow path of drip emitters on hydraulic and anti-clogging performance. ASAE. 49(3): 637-643.
- 9- Li Y.K., Yang P.L., Xu T.W., Ren S.M. 2006. Hydraulic characterization of tortuous flow in path drip irrigation emitter. Hydrodynamics. Ser. B. 18(4): 449-457
- 10- 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. Irrig 26:427-438.
- 11- Meneveau C., and Katz J. 2000. Scale-invariance and turbulence models for Large-Eddy-Simulation. Annu. Rev. Fluid Mech. 32. 1.

- 12- Ozekici B., Sneed R.E., Ronald E. 1991. Analysis of pressure losses in tortuous path emitters. ASAE Paper No. 912155.
- 13- Palau-Salvador G., Arviza-Valverde J., Bralts V.F. 2004. Hydraulic flow behavior through an in-line emitter labyrinth using CFD techniques. ASAE Paper No. 042252.
- 14- Pfahler J.N., Harley J., Bau H. 1990. Liquid and gas transport in small channels. ASME DSC 19: 149–157.
- 15- Sinobas L.R., Juana L., Losada A. 1999. Effects of temperature changes on emitter discharge. Irrigation and drainage engineering. 64-73.
- 16- Wang W., Wang F., Zhao F. 2006. Simulation of unsteady flow in labyrinth emitter of drip irrigation system. Computers in Agriculture and Natural Resources, 4th World Congress Conference. ASAE.
- 17- Wei Q.S., Shi Y.S., Lu J., Dong W.C., Huang S.H. 2004. Study on theory and process to rapidly develop drip emitters with low cost. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng. 21: 17–21.
- 18- Wei Q.S., Shi Y.S., Lu J., Dong W.C., Huang S.H. 2006. Study on hydraulic performance of drip emitters by computational fluid dynamics. Agricultural Water Management. 84: 130-136.
- 19- Wei Q.S., Shi Y.S., Lu J., Dong W.C., Huang S.H. 2006. Study of hydraulic performance of the eddy channel for drip emitters. Irrigation and Drainage. 55. Issue 1. 61-72.
- 20- Wei Q.S., Shi Y.S., Lu J., Dong W.C., Huang S.H. 2006. Advanced methods to develop drip emitters with new channel. Applied Engineering in Agriculture. 22(2): 243-249. ASAE.
- 21- 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: 705–712.
- 22- 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: 120-129.



Analysis of Hydraulic Flow Characteristics In Small Emitter Channels By Using FLUENT Software

M. Delghandi^{1*}- M. Behzad²- S. Broomandnasab³

Abstract

Emitter is the key component in drip irrigation system. It is necessary to have a comprehensive understanding of the flow mechanisms within drip irrigation emitters to design emitters that have a high performance. The use of computational fluid dynamics (CFD) to research the flow characteristics is appropriate because the labyrinth flow path is narrow and its boundary is complex. In this study, the flow in labyrinth channels was simulated by using the method of computational fluid dynamics (CFD) to calculate the distributions of pressure and velocity of the flow, and to calculate the relationship between pressure and rate of discharge for three sample of one type emitter. The emitters were destroyed and sizes of those channels were calculated by photography with Scanning Electronic Microscope (SEM). To calculate the relationship between pressure and rate of discharge as well as simulation of flow in emitters' channels, laminar flow model and turbulence model were applied. Verification of the results obtained from the CFD simulation was conducted in laboratory, according to the ISO9261 standard. The results of simulation for the labyrinth channel well matched the measured data in laboratory Computational fluid dynamics provides a promising tool to help in the design of labyrinth channels used in drip emitters.

Keywords: Emitter, Computational Fluid Dynamics (CFD), Pressure- discharge relationship

1 - PhD Student, Department of irrigation & Drainage, Shahid Chamran University of Ahwaz

(* - Corresponding Author Email: m_delghandi@yahoo.com

2,3 - Associate Professors, Professors Water Sciences Engineering Faculty, Shahid Chamran University of Ahwaz,