

کارایی نرم افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی در تعیین میزان جریان خروجی از قطره چکان‌ها

مهدی دلقندی^{۱*}، حجت‌ا... ساقی^۲، سعید برومند نسب^۳

چکیده

کارایی هیدرولیکی قطره‌چکان‌ها نقش مهمی در یکنواختی سیستم آبیاری قطره‌ای دارد. اما تولید قطره‌چکان مناسب، پرهزینه و وقت‌گیر می‌باشد و به دلیل ریز و پیچیده بودن هندسه مجاری آن، مشاهده جریان در حین عبور از مجاری غیر ممکن می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) می‌تواند کمک شایانی به مطالعه خصوصیات هیدرولیکی جریان درون مجاری قطره‌چکان‌ها نماید. در این تحقیق، سه نوع قطره-چکان با کدهای A، B و C انتخاب شدند و اندازه مجاری آنها با عکس برداری توسط میکروسکوپ الکترونی (SEM) تعیین گردید. جریان داخل مجاری قطره‌چکان‌ها توسط دو نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی FLOW3D و FLUENT با دو فرض آرام و متلاطم بودن شبیه‌سازی گردید و دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها محاسبه گردید. صحت‌سنجی نتایج حاصل از CFD با نتایج آزمایشگاهی شخص کرد که متوسط خطای پیش‌بینی برای مدل آرام حاصل از FLUENT، مدل متلاطم حاصل از FLUENT، مدل آرام حاصل از FLOW3D و مدل متلاطم حاصل از FLOW3D به ترتیب برابر با ۴/۰، ۴/۴، ۵/۳ و ۱۲/۰ درصد بود، که نشان می‌دهد مدل آرام مقدار دبی قطره‌چکان‌ها را نسبت به مدل متلاطم کمتر برآورد می‌نماید. همچنین در هر دو نرم‌افزار FLOW3D و FLUENT، خطای مدل متلاطم نسبت به مدل آرام بیشتر است و با توجه به خطاهای ذکر شده، نرم‌افزار FLUENT نسبت به FLOW3D دارای کارایی بالاتری در شبیه‌سازی جریان درون مجاری قطره‌چکان‌ها می‌باشد. اما به طور کلی می‌توان گفت هر دو نرم‌افزار با دقت خوبی قادر به شبیه‌سازی جریان داخل مجاری قطره‌چکان‌ها می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: قطره‌چکان، دینامیک سیالات محاسباتی، FLOW3D، FLUENT

مقدمه^۱

و افزایش هزینه می‌باشد (Zhang et al., 2007). از طرف دیگر، مطالعه رفتار جریان در حین گذشتن از مجاری قطره‌چکان‌ها به خاطر اندازه کوچک و ساختار پیچیده آنها مشکل می‌باشد (Wei et al., 2006a). مدل‌های فیزیکی می‌توانند تا حدودی مشکل دوم، یعنی مطالعه هیدرولیک جریان درون قطره‌چکان‌ها را حل کنند، اما برای کاهش زمان و هزینه تولید، نمی‌توانند مؤثر باشند. مدل‌های رایانه‌ای همچون FLUENT، ANSYS و FLOW3D 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 قطره‌چکان‌ها باشند.

Delghandi et al. (2009) و Delghandi et al. (2010)

کارایی نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی FLUENT را در شبیه‌سازی جریان در مجاری ریز و مارپیچ مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که FLUENT نرم‌افزاری کارا جهت شبیه‌سازی جریان درون مجاری قطره‌چکان‌های مورد بررسی می‌باشد. (Wei et al. (2006b) در تحقیقی به شبیه‌سازی جریان درون قطره‌چکان‌های گردابی پرداختند و عنوان نمودند که افت فشار عمدتاً در حفره‌های مخروطی شکل مجاری اتفاق می‌افتد. (Wei et al. (2006c) در تحقیق خود

آبیاری قطره‌ای یکی از روش‌های استفاده بهینه از منابع آب است. البته صرف استفاده از آبیاری قطره‌ای نمی‌تواند برای این امر مفید باشد. بلکه لازم است سیستم آبیاری قطره‌ای علاوه بر طراحی، اجرا و نگهداری مناسب، از لوازم و تجهیزات مناسبی نیز بهره‌بردار. مهمترین بخش در یک سیستم آبیاری قطره‌ای قطره‌چکان‌ها می‌باشند که نقش تعیین‌کننده‌ای در کارایی سیستم آبیاری قطره‌ای دارند. در حال حاضر معمولاً برای ساخت قطره‌چکان‌های جدید از آزمایش‌های تجربی کمک گرفته می‌شود. بدین صورت که قطره-چکان 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

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

*- نویسنده مسئول: (Email: delghandi@gmail.com)

۲- کارشناس شرکت مشاور آب و خاک کشور- مطالعات کرخه

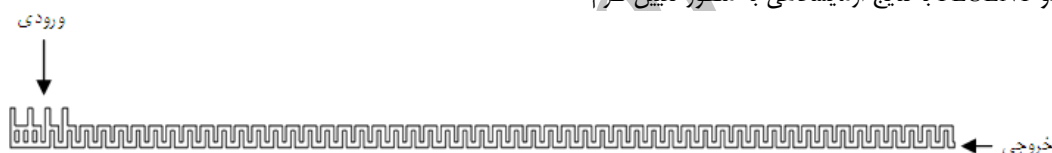
۳- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

افزار کارا تر در شبیه سازی جریان درون قطره چکان ها.

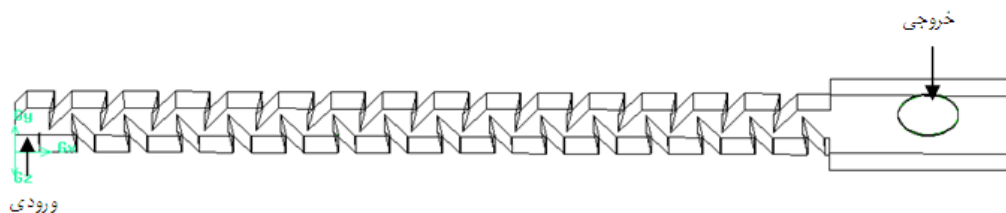
مواد و روش ها

در این تحقیق با بررسی انواع مختلف قطره چکان های موجود در بازار، سه نوع قطره چکان با ساختار فیزیکی متفاوت برای مطالعه انتخاب و با کدهای A، B و C نامگذاری گردیدند. قطره چکان ها هر سه از نوع نوار تیپ میباشند قطره چکان A از نوع T-tape و قطره-چکان های B و C از نوع تیپ پلاک دار می باشند. در شکل های ۱ تا ۳ تصویر مجاری این قطره چکان ها که توسط نرم افزار Solid work ترسیم شده ارائه گردیده است. در قطره چکان A، آب یک مسیر زیگزاک به طول ۱۸ سانتی متر را طی می کند ولی طول مسیر جریان آب برای قطره چکان های B و C به ترتیب برابر با ۲۷ و ۲۹ میلی متر می باشد. برای افزایش دقت تحقیق از هر نوع قطره چکان سه نمونه انتخاب شد و با شماره های ۱ تا ۳ نامگذاری شدند. سه نمونه قطره-چکان A با کدهای A1، A2 و A3 و قطره چکان های نوع B و C نیز با کدهای B1، B2، B3، C1، C2، C3 نامگذاری شدند.

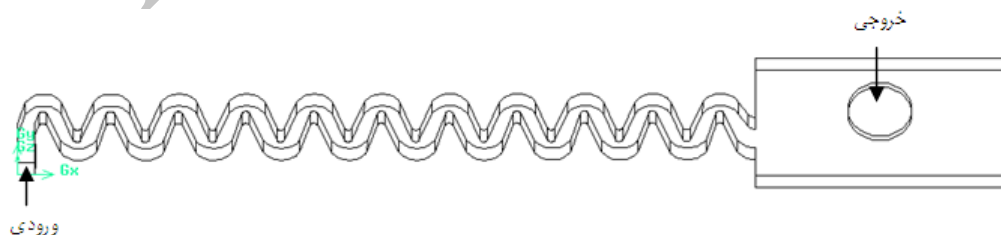
نتیجه گرفتند که اختلاف دبی شبیه سازی شده و دبی اندازه گیری شده کمتر از ۵٪ بود. نتایج تحقیق (Yan et al. (2007 نشان داد زوایای دندانه ها، تأثیر زیادی روی افزایش کارایی هیدرولیکی قطره چکان ها دارد. (Li et al. (2006a در تحقیقی نتیجه گرفتند که فاصله بین دندانه ها تأثیر معنی داری روی مقدار نمای معادله دبی- فشار قطره-چکان ها (x) و پتانسیل گرفتگی قطره چکان ها ندارد. Li et al. (2008) در تحقیق خود عنوان نمودند که اختلاف بین دبی های حاصل از اندازه گیری و شبیه سازی ۱۰ درصد بوده است. علاوه بر این، مطالعاتی نیز در این زمینه توسط (Ozekici et al. (1991، (Wei et al. (2004، (Palau-Salvador et al. (2004، (Wang et al. (2006) و (Li et al. (2006b صورت گرفته است. اما در هیچ کدام از این مطالعات کارایی نرم افزارهای CFD در مطالعه هیدرولیک جریان درون مجاری ریز و ماریچ قطره-چکان ها مورد مقایسه قرار نگرفته اند. لذا در این تحقیق برای شبیه سازی و بررسی رفتار هیدرولیکی جریان درون مجاری قطره چکان ها از دو نرم افزار FLOW3D و FLUENT استفاده گردید. اهداف این تحقیق عبارت بودند از: ۱- شبیه سازی میزان جریان خروجی از قطره چکان ها و ۲- مقایسه نتایج به دست آمده از نرم افزارهای FLOW3D و FLUENT با نتایج آزمایشگاهی به منظور تعیین نرم-



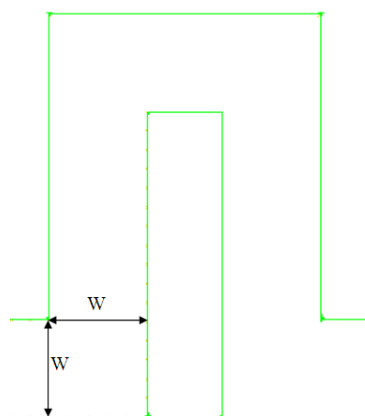
شکل ۱- شکل دو بعدی قطره چکان A، ترسیم شده توسط نرم افزار Solid work



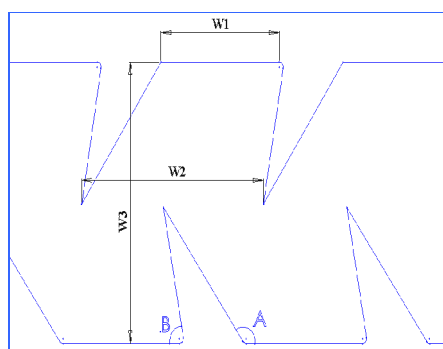
شکل ۲- شکل سه بعدی قطره چکان B، ترسیم شده توسط نرم افزار Solid work



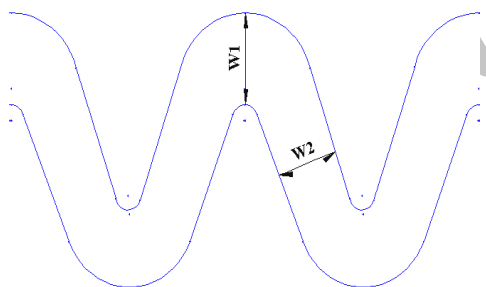
شکل ۳- شکل سه بعدی قطره چکان C، ترسیم شده توسط نرم افزار Solid work



شکل ۵- شکل سه بعدی از یک واحد قطره چکان A



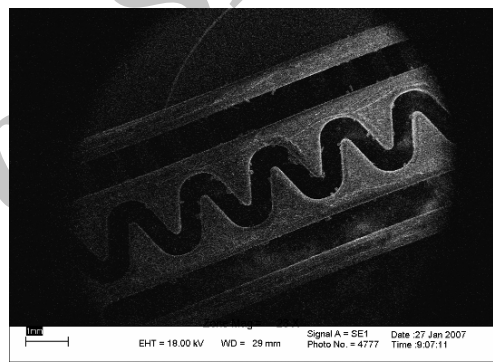
شکل ۶- شکل دو بعدی از یک واحد قطره چکان B



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

تعیین ابعاد مجاری قطره چکان‌ها

قطره چکان‌های مورد مطالعه تخریب و چندین برش طولی و عرضی از مجاری عبور آب آنها تهیه گردید. برای تعیین اندازه مجاری، از برش‌های تهیه شده عکسبرداری شد. بدین منظور از میکروسکوپ الکترونی (SEM) موجود در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید چمران اهواز استفاده گردید (شکل ۴). با استفاده از این تصاویر (شکل ۵ نمونه‌ای از این تصاویر می‌باشد) اندازه مجاری هر قطره-چکان تعیین شد. پس از تعیین اندازه مجاری، شکل و هندسه آنها توسط نرم افزار Solid work ترسیم گردید که تصویر و اندازه‌های مربوط به مجاری در شکل‌های ۵ تا ۷ و جدول ۱ ارائه گردیده است. در شکل‌های ۵، ۷، d عمق جریان و w عرض جریان می‌باشد. همان‌گونه که در جدول ۱ مشخص می‌باشد اندازه مجاری دو قطره چکان C1 و C2 و سه قطره چکان B1، B2 و B3 یکسان می‌باشد.



شکل ۴- تصویربرداری از برش عرضی قطره چکان C1 توسط SEM

جدول ۱- ابعاد قطره چکان‌ها

نوع قطره چکان	d (mm)	W (mm)	W1 (mm)	W2 (mm)	W3 (mm)	A (deg)	B (deg)
A1	۰/۴۹۱	۱/۰۱۴	—	—	—	—	—
A2	۰/۴۶۴	۰/۸۸۹	—	—	—	—	—
A3	۰/۵۲۹	۰/۹۲۶	—	—	—	—	—
B3 و B2، B1	۰/۶۵۸	—	۰/۹۳۰	۱/۳۸۶	۱/۷۴۷	۱۲۴	۸۲
C1	۰/۶۲۷	—	۰/۵۱۴	۰/۵۶۰	—	—	—
C3 و C2	۰/۶۲۷	—	۰/۵۳۴	۰/۶۲۸	—	—	—

تشخیص رژیم جریان

با تعیین شعاع هیدرولیکی قطره چکان ها، مقدار عدد رینولدز با فرض مقدار kg/m^3 ۹۹۸ برای جرم مخصوص و $0.001003 Kg/m.s$ برای لزجت در دبی های مختلف (۰/۵۶۰ تا ۳/۳۶۸ لیتر بر ساعت)، بین ۵۱ تا ۴۰۱ متغیر می باشد. بر طبق هیدرودینامیک سنتی، برای این بازه از عدد رینولدز، جریان آرام می باشد. اما تعدادی از مطالعات از جمله (Pfahler et al. (1990)، (Harley et al. (1995) و (Kandilkar et al. (2003) نشان دادند که تبدیل جریان از آرام به جریان متلاطم در مجاری با مساحت مقطع $1/0 mm^2$ می تواند در عدد رینولدز بین ۱۰۰ تا ۷۰۰ رخ دهد. بنابراین در این مطالعه مسئله با هر دو فرض حل گردید.

معادلات حاکم بر جریان آرام

برای حل جریانات آرام از دو معادله پیوستگی و مومنتم استفاده می گردد. معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

معادله مومنتم:

$$\rho \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_i} = -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} [\mu_e (\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i})] \quad (2)$$

معادلات حاکم بر جریان متلاطم

برای حل جریانات متلاطم علاوه بر معادلات پیوستگی و مومنتم، از معادلات کمکی دیگری نیز استفاده می گردد. از جمله این معادلات می توان به مدل های $k-\epsilon$ ، مدل های $k-\omega$ و مدل تنش رینولدز (RSM) اشاره کرد (Hinze, 1975). معمولاً برای اغلب محاسبات مهندسی از مدل $k-\epsilon$ استاندارد استفاده می شود. بنابراین در این مطالعه نیز مدل مذکور انتخاب شد. معادلات حاکم در این مدل عبارتند از (Meneveau and Katz, 2000):

معادله k:

$$\rho \frac{\partial u_j k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} [\frac{\mu_e}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i}] + G_K - \rho \epsilon \quad (3)$$

معادله ϵ :

$$\rho \frac{\partial u_j \epsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} [\frac{\mu_e}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i}] + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{K} G_K - C_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{K} \quad (4)$$

$$\mu_e = \mu + \mu_t \quad (5)$$

$$\mu_t = \frac{C_\mu \rho K^2}{\epsilon} \quad (6)$$

$$G_K = \mu_t (\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}) \quad (7)$$

در معادلات ۱ تا ۷، k انرژی سینتیک آشفتگی، ϵ سرعت اتلاف انرژی، μ لزجت سیال، μ_t لزجت گردابه ای، μ_e مجموع لزجت گردابه ای و لزجت سیال و $A_{\mu 1}$ ، $A_{\epsilon 1}$ ، $A_{\epsilon 2}$ ، σ_ϵ و σ_k ضرایب تصحیح هستند. ضرایب فوق بنا به پیشنهاد لندر و اسپالدینگ به شرح زیر در نظر گرفته شده اند (Lauder and Spalding, 1974):

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

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. به علاوه آب ماده ای تراکم ناپذیر و جریان به صورت دایمی فرض شد. بردارهای سرعت در جدارها صفر و فرض عدم لغزش در دیواره ها نیز لحاظ گردید.

رابطه دبی - فشار

رابطه دبی - فشار توسط معادله ذیل بیان می شود (Keller and Bliesner, 1990):

$$q = kh^x \quad (8)$$

که q دبی جریان، k ضریب معادله، x نمای معادله و h فشار می باشد. مقدار x میزان حساسیت دبی قطره چکان به تغییرات فشار را نشان می دهد. هر چه میزان x کمتر باشد مقدار دبی کمتر تحت تأثیر تغییرات فشار قرار می گیرد.

شبیه سازی جریان درون مجاری قطره چکان ها

شبیه سازی توسط نرم افزار FLUENT

برای حل مدل جریان آرام توسط FLUENT هندسه مجاری عبور آب توسط نرم افزار Solid work ترسیم شده و جهت شبکه بندی وارد نرم افزار GAMBIT گردید که برای شبکه بندی از شبکه های چهار وجهی غیر منتظم استفاده شد.

شبیه سازی توسط نرم افزار FLOW3D

نرم افزار FLOW3 بر خلاف نرم افزار FLUENT خود قادر به شبکه بندی می باشد و مجاری قطره چکان ها به صورت چهار وجهی متعامد شبکه بندی شدند.

در حل هر دو مدل FLOW3D و FLUENT، اندازه های مختلف شبکه بندی مورد بررسی قرار گرفت که مشخص گردید تفاوت

معنی داری بین نتایج حاصل از شبکه‌های ریز و متوسط وجود ندارد و انتخاب شبکه ریز تنها مدت زمان اجرای برنامه را افزایش می‌دهد. بنابراین برای تمام قطره‌چکان‌ها ابعاد شبکه‌ای انتخاب شد که تا حد متوسط ریز و یکنواخت باشد. تعداد سلول‌های شبکه‌بندی بسته به نوع قطره‌چکان بین ۱۸۰ هزار تا ۳۰۰ هزار سلول متغیر بود. نتایج حاصل از اعمال زبری‌های مختلف نیز نشان داد که در این قطره‌چکان‌ها اعمال ضرایب مختلف زبری، تأثیر چندانی در نتایج خروجی مدل ندارد و در نهایت برای تمام قطره‌چکان‌های مورد آزمایش، ضریب زبری پلاستیک، یعنی عدد 0.003 سانتی‌متر در نظر گرفته شود. شرایط مرزی مورد استفاده در هر دو نرم‌افزار عبارت بودند از: ۱- فشار در ورودی قطره‌چکان‌ها ثابت در نظر گرفته شد، ۲- فشار در خروجی قطره‌چکان‌ها به دلیل تخلیه آب به اتمسفر برابر با صفر فرض شد و ۳- بردارهای سرعت در جدارها برای هر دو مدل آرام و متلاطم صفر در نظر گرفته شد. برای حل مدل‌ها ۶ فشار ۲، ۴، ۶/۱، ۹/۲، ۱۲/۲۵، و ۱۶/۳۳ متر ارتفاع آب مورد استفاده قرار گرفت. اعشاری بودن اعداد نیز به دلیل تبدیل واحد بار به متر ارتفاع آب می‌باشد.

نتایج و بحث

دبی به دست آمده از دو مدل آرام و متلاطم که توسط نرم-افزارهای FLUENT و FLOW3D حل شده‌اند و مدل آزمایشگاهی در جداول (۲) تا (۶) ارائه شده است.

جدول ۲- دبی به دست آمده از آزمایشگاه (لیتر بر ساعت)

نوع قطره‌چکان									فشار (mH ₂ O)
C3	C2	C1	B3	B2	B1	A3	A2	A1	
۱/۱۵۵	۱/۱۵۴	۱/۱۵۲	۰/۶۴۷	۰/۶۴۷	۰/۶۴۴	۰/۵۹۸	۰/۴۹۱	۰/۵۶۰	۲
۱/۷۰۲	۱/۷۱۳	۱/۶۸۸	۰/۹۱۷	۰/۹۱۵	۰/۹۱۵	۰/۸۹۶	۰/۷۲۲	۰/۸۲۸	۴
۲/۰۷۰	۲/۱۱۲	۲/۰۵۴	۱/۱۰۹	۱/۱۰۶	۱/۱۰۹	۱/۰۸۸	۰/۹۰۵	۱/۰۳۴	۶/۱
۲/۳۹۷	۲/۴۱۰	۲/۳۹۰	۱/۳۲۲	۱/۳۲۰	۱/۳۳۱	۱/۳۷۸	۱/۱۵۶	۱/۲۹۲	۹/۲
۲/۸۷۶	۲/۸۷۳	۲/۸۴۶	۱/۵۵۸	۱/۵۵۰	۱/۵۵۴	۱/۶۴۴	۱/۳۸۵	۱/۵۷۰	۱۲/۲۵
۳/۳۶۸	۳/۳۶۲	۳/۳۱۲	۱/۷۴۴	۱/۷۳۸	۱/۷۳۵	۲/۰۱۴	۱/۷۰۵	۱/۸۸۳	۱۶/۳۳

جدول ۳- دبی حاصل از شبیه‌سازی مدل آرام توسط نرم‌افزار FLUENT (لیتر بر ساعت)

نوع قطره چکان						فشار (mH ₂ O)
C3, C2	C1	B1, B2, B3	A3	A2	A1	
۱/۱۱۷	۱/۰۷۶	۰/۶۲۷	۰/۵۱۸	۰/۴۱۹	۰/۵۳۳	۲
۱/۵۸۰	۱/۵۴۶	۰/۸۹۶	۰/۸۳۱	۰/۶۷۸	۰/۸۴۱	۴
۱/۹۵۳	۱/۹۰۸	۱/۱۱۹	۱/۰۷۹	۰/۸۸۴	۱/۰۷۷	۶/۱
۲/۴۰۸	۲/۳۲۹	۱/۳۸۷	۱/۳۹۹	۱/۱۵۱	۱/۳۵۷	۹/۲
۲/۸۰۷	۲/۶۷۵	۱/۶۰۵	۱/۶۴۶	۱/۳۶۳	۱/۵۵۶	۱۲/۲۵
۳/۲۲۰	۳/۰۷۰	۱/۸۷۴	۱/۹۱۳	۱/۵۹۸	۱/۷۷۴	۱۶/۳۳

جدول ۴- دبی حاصل از شبیه‌سازی مدل متلاطم توسط نرم‌افزار FLUENT (لیتر بر ساعت)

C2, C3	نوع قطره‌چکان					فشار (mH ₂ O)
	C1	B1, B2, B3	A3	A2	A1	
۱/۱۶۶	۱/۱۰۶	۰/۶۶۸	۰/۵۱۰	۰/۴۱۲	۰/۵۲۴	۲
۱/۷۲۱	۱/۶۴۵	۰/۹۴۸	۰/۸۲۱	۰/۶۶۹	۰/۸۲۵	۴
۲/۱۶	۲/۰۶۲	۱/۱۷۸	۱/۰۶۹	۰/۸۷۵	۱/۰۷۳	۶/۱
۲/۶۷۰	۲/۵۶۵	۱/۴۵۰	۱/۳۹۳	۱/۱۴۴	۱/۳۷۶	۹/۲
۳/۰۹۷	۲/۹۹۸	۱/۶۸۸	۱/۶۵۳	۱/۳۶۰	۱/۶۱۱	۱۲/۲۵
۳/۵۸۰	۳/۴۵۶	۱/۹۴۶	۱/۹۴۹	۱/۶۰۷	۱/۸۷۸	۱۶/۳۳

جدول ۵- دبی حاصل از شبیه‌سازی مدل متلاطم توسط نرم‌افزار FLOW3D (لیتر بر ساعت)

C2, C3	نوع قطره‌چکان					فشار (mH ₂ O)
	C1	B1, B2, B3	A3	A2	A1	
۰/۹۳۳	۱/۰۰۲	۰/۶۸۱	۰/۵۷۸	۰/۴۹۲	۰/۵۶۹	۲
۱/۴۰۵	۱/۴۴۹	۰/۹۲۹	۰/۸۸۳	۰/۷۵۲	۰/۸۷۱	۴
۱/۷۰۷	۱/۸۱۴	۱/۱۲۴	۱/۱۲۹	۰/۹۵۹	۱/۱۲۱	۶/۱
۲/۱۰۱	۲/۲۵۲	۱/۳۵۸	۱/۴۲۱	۱/۲۱۶	۱/۴۱۲	۹/۲
۲/۴۳۹	۲/۶۱۰	۱/۵۵۱	۱/۶۷۰	۱/۴۱۸	۱/۶۵۵	۱۲/۲۵
۲/۸۳۰	۳/۰۳۱	۱/۷۷۴	۱/۹۵۶	۱/۶۵۹	۱/۹۳۶	۱۶/۳۳

جدول ۶- دبی حاصل از شبیه‌سازی مدل متلاطم توسط نرم‌افزار FLOW3D (لیتر بر ساعت)

C2, C3	نوع قطره‌چکان					فشار (mH ₂ O)
	C1	B1, B2, B3	A3	A2	A1	
۱/۱۱۶	۱/۲۰۷	۰/۷۱۸	۰/۶۰۳	۰/۵۱۱	۰/۶۰۰۸	۲
۱/۶۸۰	۱/۸۲۴	۱/۰۰۰	۰/۹۴۲	۰/۸۱۱	۰/۹۵۲	۴
۲/۱۲۹	۲/۳۱۸	۱/۲۳۰	۱/۲۲۸	۱/۰۴۵	۱/۲۵۸	۶/۱
۲/۶۷۲	۲/۹۰۷	۱/۵۰۶۶	۱/۵۵۳	۱/۳۱۵	۱/۵۹۲	۹/۲
۳/۱۲۲	۳/۳۹۵	۱/۷۳۷	۱/۸۱۳	۱/۵۲۳	۱/۸۴۶	۱۲/۲۵
۳/۶۴۰	۳/۹۸۱	۱/۹۹۸	۲/۱۱۴	۱/۷۸۹	۱/۱۵۷	۱۶/۳۳

که در آن λ ، شیب بهترین خط برازش داده شده می‌باشد. $\lambda < 1$ نشان دهنده پیش‌بینی کمتر از مقدار واقعی و مقادیر $\lambda > 1$ ، نشان دهنده پیش‌بینی بیشتر از مقدار واقعی است. مقدار درصد متوسط خطای پیش‌بینی (E_r) توسط رابطه زیر بیان می‌گردد:

$$E_r = |(1 - \lambda)| \times 100 \quad (10)$$

برای مقایسه نتایج دبی شبیه‌سازی شده با دبی حاصل از آزمایشگاه، از میانگین نتایج به دست آمده برای سه قطره‌چکان استفاده شد. به عبارتی دیگر، میانگین دبی قطره‌چکان‌های A2، A1 و A3 با عنوان دبی قطره‌چکان A، میانگین دبی سه قطره‌چکان B1، B2، B3 با عنوان دبی قطره‌چکان B و میانگین دبی سه قطره‌چکان C1، C2، C3 با عنوان دبی قطره‌چکان C در نظر گرفته شد. نتایج مقایسه میانگین دبی سه قطره‌چکان در جدول ۸ ارائه شده است.

تعیین معادله دبی - فشار برای قطره‌چکان‌ها

رابطه دبی - فشار برای نتایج به دست آمده از آزمایشگاه و مدل‌های آرام و متلاطم حاصل از نرم‌افزارهای FLUENT و FLOW3D توسط یک رگرسیون توانی تعیین گردید و در جدول (۷) ارائه شده است. در تعیین معادله فشار و دبی اندازه‌گیری شده برای قطره‌چکان‌های B1، B2، B3 و قطره‌چکان‌های C1 و C2 از میانگین دبی آن‌ها استفاده شد. مقادیر x و k معادله دبی و فشار ذکر شده در جدول نشان می‌دهد که مقدار x برای قطره‌چکان A، حدود ۰/۶ و برای قطره‌چکان‌های B و C حدود ۰/۵ می‌باشد، که نشان‌دهنده کارایی بهتر قطره‌چکان‌های B و C نسبت به قطره‌چکان A می‌باشد. در این تحقیق برای مقایسه و ارزیابی مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه، X_m و مقادیر پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار، X_p از برازش داده‌ها توسط معادله رگرسیونی زیر استفاده شد:

$$x_p = \lambda \times x_m \quad (9)$$

جدول ۷- مقادیر ضرایب رابطه دبی - فشار قطره چکان ها، به دست آمده از سه مدل

نوع مدل	ضرایب رابطه					نوع قطره چکان
	دبی - فشار	A1	A2	A3	B1,B2,B3	
مدل آزمایشگاه	x	۰/۵۷۲	۰/۵۸۶	۰/۵۶۷	۰/۴۷۲	C1, C2, C3
	k	۰/۳۷۲	۰/۳۲۱	۰/۴۰۱	۰/۴۷۰	C1
مدل آرام حاصل از FLUENT	x	۰/۵۷۳	۰/۶۳۸	۰/۶۲۴	۰/۵۱۵	C1, C2, C3
	k	۰/۳۷۱	۰/۲۷۵	۰/۳۴۴	۰/۴۴۳	C1
مدل متلاطم حاصل از FLUENT	x	۰/۶۰۹	۰/۶۴۸	۰/۶۳۷	۰/۵۱۰	C1, C2, C3
	k	۰/۳۵۰	۰/۲۶۸	۰/۳۳۳	۰/۴۶۸	C1
مدل آرام حاصل از FLOW3D	x	۰/۵۸۲	۰/۵۷۸	۰/۵۷۹	۰/۴۵۵	C1, C2, C3
	k	۰/۳۸۵	۰/۳۳۳	۰/۳۹۱	۰/۴۹۴	C1
مدل متلاطم حاصل از FLOW3D	x	۰/۴۰۹	۰/۳۴۸	۰/۴۰۶	۰/۵۱۰	C1, C2, C3
	k	۰/۶۰۴	۰/۵۹۲	۰/۵۹۷	۰/۴۸۸	C1

جدول ۸- مقادیر E_r و λ حاصل از مقایسه میانگین نتایج دبی حاصل از مدل ها با دبی های حاصل از آزمایشگاه برای هر سه نوع قطره چکان

مدل	نوع قطره چکان					
	A		B		C	
	E_r	λ	E_r	λ	E_r	λ
مدل آرام حاصل از FLUENT	۰/۹۷۵	۲/۵	۱/۰۴۳	۴/۳	۰/۹۴۹	۵/۱
مدل متلاطم حاصل از FLUENT	۱/۰۲۰	۲/۰	۱/۰۹۲	۹/۲	۰/۹۷۹	۲/۱
مدل آرام حاصل از FLOW3D	۱/۰۱۹	۱/۹	۱/۰۱۵	۱/۵	۰/۸۷۴	۱۲/۶
مدل متلاطم حاصل از FLOW3D	۱/۱۱۴	۱۱/۴	۱/۱۲۷	۱۲/۷	۱/۱۱۹	۱۲/۰

برای قطره چکان A، دبی را کمتر و برای قطره چکان های B و C، بیشتر از مقدار واقعی برآورد می کند. مقدار E_r بدست آمده برای قطره چکان های A و C، در مدل متلاطم، نرم افزار FLOW3D خطای بالاتری نسبت به نرم افزار FLUENT، نشان می دهد و برای قطره چکان B، میزان خطا در هر دو نرم افزار تقریباً نزدیک به هم می باشند.

میانگین E_r سه قطره چکان ذکر شده در جدول (۸) نشان می دهد خطای مدل متلاطم نسبت به مدل آرام در هر دو نرم افزار بیشتر است همچنین نرم افزار FLUENT در شبیه سازی جریان درون مجاری قطره چکان ها نسبت به نرم افزار FLOW3D خطای کمتری مرتکب شده است که نشان از کارایی بالاتر نرم افزار FLUENT در مطالعه هیدرولیک جریان درون مجاری ریز و مارپیچ نسبت به نرم افزار FLOW3D می باشد. اما به طور کلی می توان گفت هر دو نرم افزار با دقت قابل قبولی قادر به شبیه سازی جریان داخل مجاری قطره چکان های مورد مطالعه می باشند.

نتیجه گیری

در این تحقیق جریان درون مجاری سه نوع قطره چکان با هندسه

مقایسه نتایج مدل متلاطم و آرام حاصل از هر دو نرم افزار FLUENT و FLOW3D (جداول ۲ تا ۶) نشان می دهد که مدل آرام مقدار دبی قطره چکان ها را نسبت به مدل متلاطم کمتر برآورد نموده است. دلیل این امر این است که جریان متلاطم، تبادل مومنتم را در لایه های مرزی افزایش می دهد.

با توجه به جدول ۸، مدل آرام نرم افزار FLOW3D، برای قطره چکان های A و B، مقدار دبی را بیشتر از مقدار واقعی و برای قطره چکان C کمتر از مقدار واقعی برآورد نموده است. مقدار E_r مدل آرام حاصل از حل این نرم افزار برای قطره چکان های A و B بسیار اندک و در حدود ۱ درصد بوده و تنها برای قطره چکان C این مقدار عددی بالاتر و حدود ۱۲ درصد بوده است.

مدل آرام حاصل از نرم افزار FLUENT، برای قطره چکان های A و C، مقدار دبی را کمتر از مقدار واقعی و برای قطره چکان B، بیشتر از مقدار واقعی محاسبه کرده است. مقدار E_r مدل آرام این نرم افزار برای قطره چکان های B و C، حدود ۵ درصد و برای قطره چکان A، نصف آن مقدار، یعنی ۲/۵ درصد می باشد. مدل متلاطم نرم افزار FLOW3D، مقدار دبی را برای تمام قطره چکان ها بیشتر از مقدار واقعی نشان می دهد، اما مدل متلاطم نرم افزار FLUENT،

- Li, G.Y., Wang, G.D., Alam, M., and 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.
- Li, Y.K., Yang, P.L., Xu, T.W., and Ren, S.M. (2006), Hydraulic characterization of tortuous flow in path drip irrigation emitter. *Hydrodynamics. Ser, B*. 18(4): 449-457.
- Li, Y.K., Yang, P.L., Xu, T.W., Ren, S.M., Lin, X.C., Wei, R.J, and 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(5): 427-438.
- Meneveau, C., and Katz, J. (2000), Scale-invariance and turbulence models for Large-Eddy-Simulation. *Annu. Rev. Fluid Mech.* 32, 1-32
- Ozekici, B., Sneed, R.E., and Ronald, E. (1991), Analysis of pressure losses in tortuous path emitters. *ASAE Paper No.* 912155.
- Palau-Salvador, G., Arviza-Valverde, J., and Bralts, V.F. (2004), Hydraulic flow behavior through an in-line emitter labyrinth using CFD techniques. *ASAE Paper No.* 042252.
- Pfahler, J.N., Harley, J., and Bau, H., (1990), Liquid and gas transport in small channels. *ASME DSC* 19: 149-157.
- 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*.
- Wei, Q.S., Shi, Y.S., Lu, J., Dong, W.C., and 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.
- Wei, Q.S., Shi, Y.S., Lu, J., Dong, W.C., and Huang, S.H. (2006), Study on hydraulic performance of drip emitters by computational fluid dynamics. *Agricultural Water Management*. 84: 130-136.
- Wei, Q.S., Shi, Y.S., Lu, J., Dong, W.C., and Huang, S.H. (2006), Study of hydraulic performance of the eddy channel for drip emitters. *Irrigation and Drainage*. 55. Issue 1. 61-72.
- Wei, Q.S., Shi, Y.S., Lu, J., Dong, W.C., and Huang, S.H. (2006), Advanced methods to develop drip emitters with new channel. *Applied Engineering in Agriculture*. 22(2): 243-249.
- Yan, D.H., Yang, P.L., Ren, S.M., and Li, Y.K. (2007), Numerical study on flow property in dentate path of drip emitters. *Agricultural Research*. 50(5): 705-712.
- Zhang, J., Zhoo, W., Wei, Z.h., Tang, Y., and Lu, B. (2007), Numerical and experimental study on hydraulic performance of emitters with arc labyrinth channels. *Computers and electronics in agriculture*. 56(2): 120-129.
- مجماری متفاوت شبیه‌سازی گردید که بدین منظور از دو نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی FLOW3D و FLUENT استفاده گردید. هر کدام از مدل‌ها با دو فرض آرام و متلاطم بودن جریان حل گردیدند. صحت سنجی نتایج حاصل از دو مدل FLOW3D و FLUENT با نتایج آزمایشگاهی نشان داد که مدل آرام مقدار دبی قطره‌چکان‌ها را نسبت به مدل متلاطم کمتر برآورد نموده است که دلیل آن افزایش تبادل مومنتم در لایه‌های مرزی در جریان متلاطم می‌باشد. میانگین E_r (متوسط خطای پیش‌بینی) برای مدل آرام حاصل از FLUENT، مدل متلاطم حاصل از FLUENT، مدل آرام حاصل از FLOW3D و مدل متلاطم حاصل از FLOW3D به ترتیب برابر بود با ۴/۰، ۴/۴، ۵/۳ و ۱۲/۰. این نتایج نشان می‌دهد که خطای مدل متلاطم نسبت به مدل آرام در هر دو نرم‌افزار بیشتر است و همچنین نرم‌افزار FLUENT نسبت به نرم‌افزار FLOW3D مدل کارتری در شبیه‌سازی جریان درون مجاری قطره‌چکان‌ها مورد مطالعه می‌باشد. اما به طور کلی می‌توان گفت هر دو نرم‌افزار و هر دو مدل آرام و متلاطم با دقت قابل قبولی قادر به شبیه‌سازی جریان داخل مجاری قطره‌چکان‌ها می‌باشند.

مراجع

- 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): 699-714. (In Farsi).
- Delghandi, M., Broomandnasab, S., Behzad, M., Ghalambaz, M (2009). Study of hydraulic flow inside the emitters by computational fluid dynamics. *Iranian journal of irrigation and drainage*. 1(3): 57-67. (In Farsi).
- Harley, J.C., Huang, Y.F., and Bau, H. (1995), Gas flow in micro channels. *Fluid Mech*. 284. 257-274.
- Hinze, J.O. (1975), *Turbulence*. McGraw-Hill, New York, U.S.A.
- International Standards Organization (ISO). (2004), *Agricultural irrigation equipment – emitters – specification and test methods [N]*. International Standards Organization (ISO). p.9261.
- Kandilkar, S.D, Joshi.S., and 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.
- Keller, J., and Blaisner, R.D. (1990), *Sprinkle and Trickle Irrigation*. New York. USA:champan and Hall.
- Launder, B.E., and Spalding, D.B. (1974), The numerical computation of turbulent flow. *Comput. Meth. Appl. Mech*. 3(2): 269-289

تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۸

Performance Computational Fluid Dynamics Software Tools in Determination Emitters Outflow

M.Delghandi^{1*}, H. Sagh², S.Broomandnasab³

Abstract

Hydraulic performance of emitters plays a major role in the trickle (drip) irrigation system uniformity. But, manufacturing proper emitters is highly expensive and time consuming. On the other hand, the study of flow behavior of the water passing through emitters' channels is difficult because of their small size and complexity. Therefore, it seems that Computational Fluid Dynamics (CFD) can significantly contribute to the study of flow hydraulic characteristics in emitter channels. In the present study, the three emitter codes A, B and C were selected and their channels size determined using the Scanning Electronic Microscope (SEM) for taking the pictures of channels. The flow in emitters channels was simulated with the two software FLOW3D and FLUENT. In this study laminar and turbulence models were applied for the simulation of flow in emitters' channels, the discharge for each emitter was calculated. Verification of the CFD simulation results with those obtained in laboratory showed that Relative error value (E_r) for laminar model of FLUENT, turbulent model of FLUENT, laminar model of FLOW3D, turbulent model of FLOW3D was 4.0, 4.4, 5.3, 12.0 per cent respectively. Laminar model estimated emitters discharge less than turbulent model. Also, it was shown that in both models FLOW3D and FLUENT the error calculated for turbulent model is greater than laminar model and that FLUENT software is more efficient than FLOW3D in the simulation of flow within emitters' channels. But, generally, it can be said that the two software tools can simulate flow in emitters' channels with a good accuracy.

Key words: Emitter, Computational Fluid Dynamics (CFD), FLOW3D, FLUENT.

1 - Assistant professor, Department of Water Engineering, Birjand University, Birjand, Iran,
(* - Corresponding Author Email: delghandi@gmail.com)

2 - Expert, Water and Soil Consulting Company of Country, Karkheh Studies. Ahwaz, Iran.

3 -Professor, Department of Irrigation & Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran.