

مقایسه کارایی دو نرم افزار FLOW3D و FLUENT در تعیین دبی خروجی از مجاری ریز و ماریج در شرایط جریان آرام

حجت الله ساقی^۱، مهدی دلقندی^۲ و سعید برومند نسب^۳

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

۲- نویسنده مسئول: استادیار گروه آب و خاک، دانشگاه صنعتی شاهرود delghandi@gmail.com

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

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۶/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۸/۱۰

چکیده

قطره چکان‌ها، مهمترین بخش سیستم آبیاری قطره‌ای می‌باشند. بنابراین کارایی هیدرولیکی قطره چکان‌ها نقش تعیین کننده‌ای در کارایی و یکنواختی سیستم آبیاری قطره‌ای دارد. از طرفی تولید قطره چکان مناسب بر هزینه و وقت گیر و مشاهده جریان داخل مجاری آن‌ها به دلیل ریزی و پیچیده بودن آن‌ها غیر ممکن می باشد. 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 قطره چکان‌ها توسط دو نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، FLOW3D و FLUENT با فرض آرام بودن جریان درون مجاری شبیه سازی گردید. پس از تعیین میزان دبی در هر فشار، رابطه دبی-فشار به دست آمد. نتایج حاصل از دو نرم افزار FLOW3D و FLUENT با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه گردیدند و مقدار میانگین خطای متوسط پیش بینی دبی برای نرم افزار FLOW3D، ۵/۵ درصد و برای نرم افزار FLUENT، ۳/۶ درصد تعیین گردید که نشان می‌دهد که هر دو مدل FLOW3D و FLUENT با دقت خوبی قادر به پیش بینی جریان آرام داخل مجاری قطره چکان‌های مورد مطالعه می‌باشند و گزینه مناسبی برای بهینه کردن طراحی قطره چکان‌ها به شمار می‌روند.

کلید واژه‌ها: دبی قطره چکان، دینامیک سیالات محاسباتی، FLOW3D، FLUENT

مقدمه

مدل‌های رایانه‌ای 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. از کیسی و همکاران^۱ تلفات فشار داخل مسیرهای ماریج قطره چکان‌ها را با فرض آرام بودن رژیم جریان مورد آنالیز قرار دادند و گزارش دادند که تلفات فشار در طول جریان نتیجه لبه‌های ماریج قطره چکان‌ها بوده است (۱۰). پالاتو -سالوادور و همکاران^۲ رابطه بین فشار و میزان دبی را برای یک قطره چکان داخل خط با استفاده از نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی (FLUENT)، شبیه سازی و نشان دادند که مدل پیشنهاد شده تطابق خوبی با داده‌های آزمایشگاهی داشت (۱۱). وی و همکاران^۳ از دینامیک

قطره چکان‌ها مهمترین بخش سیستم آبیاری قطره‌ای محسوب می‌گردند، برای بالا بودن کارایی سیستم آبیاری قطره‌ای، باید قطره چکان‌ها از کیفیت و کارایی بالایی برخوردار باشند. کیفیت و کارایی قطره چکان‌ها به مواد استفاده شده برای ساخت آنها و ساختمان آنها بستگی دارد. در حال حاضر برای ساخت قطره چکان‌های جدید و ارزیابی قطره چکان‌های موجود در بازار، 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 روند زمان بر و پرهزینه می‌باشد. از طرفی مشاهده رفتار جریان داخل مجاری قطره چکان به دلیل ساختار پیچیده و اندازه کوچک آنها، امکان پذیر نمی‌باشد (۱۳). 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.

1-Ozekic et. al

2-Palau-Salvador et al.

3-Wei et al.

اختلاف بین دبی‌های حاصل از اندازه‌گیری و شبیه‌سازی ۱۰ درصد بوده است (۸). از آنجایی که تاکنون تحقیقی در زمینه شبیه‌سازی جریان در درون قطره‌چکان توسط نرم‌افزار FLOW3D انجام نگرفته است و همچنین نرم‌افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) از این نظر مورد مقایسه قرار نگرفته‌اند، لذا در این تحقیق برای شبیه‌سازی و بررسی رفتار جریان درون مجاری قطره‌چکان‌ها از دو نرم‌افزار FLOW3D و FLUENT استفاده گردید. اهداف این تحقیق عبارتند از محاسبه میزان جریان خروجی از قطره‌چکان‌ها، مقایسه نتایج به‌دست آمده از نرم‌افزار FLOW3D و نرم‌افزار FLUENT با نتایج آزمایشگاهی به منظور تعیین نرم‌افزار کارآتر در شبیه‌سازی جریان درون قطره‌چکان‌ها و تعیین ضرایب X و k معادله دبی قطره‌چکان توسط نرم‌افزار FLOW3D و FLUENT 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 پلاک‌دار و یک نوع قطره‌چکان نوار تی تیپ برای مطالعه انتخاب گردید. این سه قطره‌چکان با کدهای A، B و C نامگذاری گردیدند. همانگونه که در شکل‌های (۱) تا (۳) مشخص است در قطره‌چکان A، آب یک مسیر زیگزاگ به طول ۱۸ سانتی متر را طی می‌کند ولی در مورد قطره‌چکان‌های B و C این طول به دلیل موج بودن مسیر بسیار کوتاه می‌باشد. طول مسیر جریان آب برای قطره‌چکان‌های B و C به ترتیب برابر با ۲۷ و ۲۹ میلی‌متر می‌باشد. برای افزایش دقت تحقیق از هر نوع قطره‌چکان سه نمونه انتخاب شد و با شماره‌های یک تا سه نامگذاری شد. سه نمونه قطره‌چکان A با سه کد A1، A2، A3 و قطره‌چکان‌های نوع B و C نیز با کدهای B1، B2، B3، C1، C2، C3 نامگذاری شدند.

تعیین دبی قطره‌چکان‌ها در آزمایشگاه

برای تعیین رابطه دبی-فشار قطره‌چکان‌ها تعدادی آزمایش براساس ضوابط ارائه شده در استاندارد ISO9261 صورت گرفت. بر اساس این استاندارد، شش فشار ۲، ۴، ۶/۱، ۹/۲، ۱۲/۲۵، و ۱۶/۳۳ متر ارتفاع آب برای انجام آزمایش انتخاب شدند تا هم حداقل تعداد فشارهای اعمالی (چهار 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 قطره‌چکان‌ها باید از صفر تا حداقل $1/2 P_{max}$ باشد که P_{max} حداکثر فشار پیشنهاد شده توسط کارخانه سازنده می‌باشد که برای قطره‌چکان مورد آزمایش $1/2 P_{max}$ کمتر از ۱۰ متر ارتفاع آب می‌باشد. اعشاری بودن اعداد نیز به دلیل تبدیل واحد

سیالات محاسباتی (CFD) برای شبیه‌سازی جریان در یک مجرای گردابی استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از CFD می‌تواند تعداد آزمایش‌ها را کاهش دهد (۱۳). آنها همچنین مطالعه‌ای روی شبیه‌سازی جریان در سه نوع قطره‌چکان مختلف با هندسه مجرای متفاوت انجام دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که مجرای مثلثی نسبت به مجراهای مستطیلی و دوزنقه‌ای از نظر ایجاد افت فشار کارایی بالاتری دارد (۱۶). شبیه‌سازی جریان درون قطره‌چکان‌های گردابی نیز نشان داده است که افت فشار عمدتاً در حفره‌های مخروطی شکل مجاری اتفاق می‌افتد (۱۴). وی و همکاران در تحقیقی با استفاده از نرم‌افزار سه بعدی AutoCAD (برای ترسیم مجاری قطره‌چکان‌ها) و CFD، توزیع فشار و سرعت داخل مجاری قطره‌چکان‌ها را به صورت گرافیکی ارائه نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد 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 (۱۵).

وانگ و همکاران^۱ در تحقیقی با استفاده از مدل ناپایدار و چند فازی VOF به شبیه‌سازی جریان غیر ماندگار در مجاری قطره‌چکان‌ها پرداختند (۱۲). یان و همکاران^۲ برای بررسی تأثیر زاویه دندانه‌های مجرای قطره‌چکان‌ها بر جریان خروجی از قطره‌چکان‌ها از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد زوایای بزرگتر دندانه‌ها، تأثیر زیادی روی افزایش کارایی هیدرولیکی قطره‌چکان‌ها دارد (۱۷). لی و همکاران^۳ در تحقیقی به بررسی تأثیر پارامترهای هندسی مجاری ماریپچ قطره‌چکان‌ها روی کارایی هیدرولیکی و گرفتگی قطره‌چکان‌ها پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که فاصله بین دندانه‌ها تأثیر معنی‌دار 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 معنی‌دار تحت تأثیر شکل مجاری قطره‌چکان‌ها قرار داشت (۶).

لی و همکاران 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 (۷).

لی و همکاران تحقیقی در رابطه با ردیابی ذرات درون مجاری ماریپچ قطره‌چکان با استفاده از CFD انجام و عنوان نمودند که

1-Wang et al.

2-Yan et al.

3-Li et al.



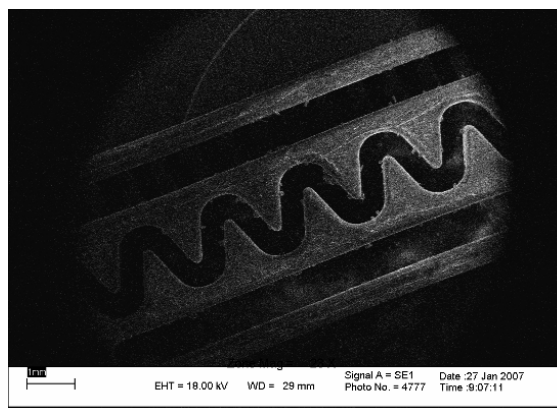
شکل ۱- تصویر قطره‌چکان A



شکل ۲- تصویر قطره‌چکان B



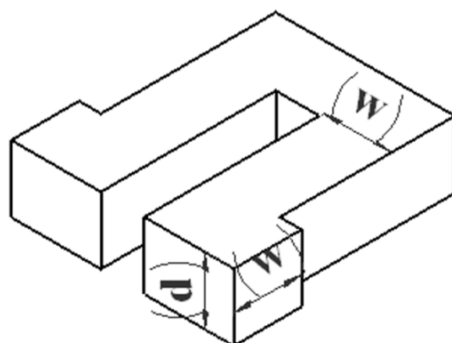
شکل ۳- تصویر قطره‌چکان C



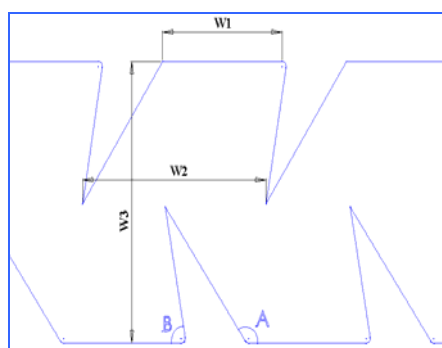
شکل ۴- تصویر برداری از برش عرضی قطره‌چکان C1 توسط SEM

تخریب و چندین برش طولی و عرضی از مجاری عبور آب در 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. با استفاده از این تصاویر (شکل ۴ نمونه‌ای از این تصاویر می‌باشد) اندازه مجاری هر قطره‌چکان تعیین گردید. پس از تعیین اندازه مجاری، شکل و هندسه آن‌ها توسط نرم افزار Solid work ترسیم شد که تصویر و اندازه‌های مربوط به مجاری در شکل‌های (۵) تا (۷) و جدول (۱) ارائه گردیده است. در شکل‌های (۵) تا (۷)، d عمق جریان و w عرض جریان می‌باشد. همان‌گونه که در جدول (۱) مشخص می‌باشد اندازه مجاری دو قطره‌چکان C1 و C2 و سه قطره‌چکان B1، B2 و B3 یکسان است.

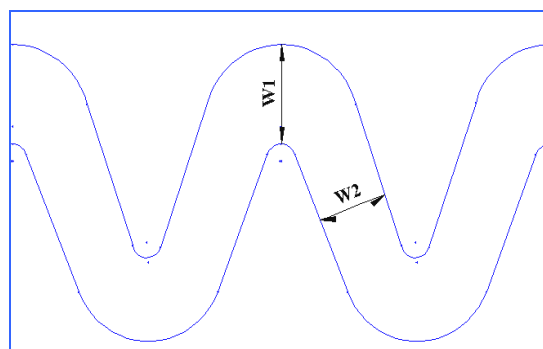
بار به متر ارتفاع آب می‌باشد. برای اعمال فشارهای دو و چهار متر از سیستم فشار ثابت (متشکل از یک بالابر هیدرولیکی مجهز به یک مخزن آب که توانایی ایجاد فشار تا پنج متر ارتفاع آب را دارد) موجود در آزمایشگاه آبیاری تحت فشار دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز و برای بقیه فشارها از یک الکتروپمپ استفاده گردید. برای جلوگیری از نوسانات فشار ناشی از الکتروپمپ از یک فشارسنج در ابتدای لوله ربط و یک شیر تخلیه آب برای ثابت کردن فشار استفاده گردید و در طول آزمایش فشار از طریق فشارسنج کنترل می‌شد. هر آزمایش در سه تکرار انجام و هر تکرار به مدت ۳۰ دقیقه به طول انجامید. مقدار آب خروجی از قطره‌چکان‌ها توسط بشرهای مدرج اندازه‌گیری و دبی قطره‌چکان‌ها در فشارهای مختلف، با میانگین‌گیری از نتایج سه تکرار تعیین گردید. این قطره‌چکان‌ها



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

جدول ۱- ابعاد قطره چکان‌های مورد استفاده در این تحقیق

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

تشخیص رژیم جریان

با تعیین شعاع هیدرولیکی قطره‌چکان‌ها، مقدار عدد رینولدز با فرض مقدار 998 Kg/m^3 برای جرم مخصوص و Kg/m.s^{-3} و $1/0.3 \times 10$ برای لزجت در دبی‌های مختلف (0.560 تا $3/368$ لیتر بر ساعت)، بین 51 تا 401 متغیر می‌باشد. بر طبق هیدرودینامیک سنتی، برای این بازه از عدد رینولدز، جریان آرام می‌باشد. بنابراین در این مقاله شبیه‌سازی جریان، با فرض آرام بودن جریان درون قطره‌چکان‌ها انجام می‌گرفت.

معادله‌های حاکم بر جریان آرام

برای حل جریان‌های آرام از دو معادله پیوستگی و مومنتم استفاده می‌گردد. 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 (۱۳). به علاوه آب ماده‌ای تراکم ناپذیر و جریان به صورت دایمی فرض شد. بردارهای سرعت در جدارها صفر و فرض عدم لغزش در دیواره‌ها نیز لحاظ گردید (۹).

معادله پیوستگی

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

معادله‌های ناویه استوکس

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

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

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

در این معادله‌ها، u ، v و w مولفه‌های سرعت جریان، p : فشار، x : بردار مکان، ρ : چگالی سیال، ν : لزجت سیال می‌باشد.

رابطه دبی - فشار

رابطه دبی - فشار توسط معادله ذیل بیان می‌شود (۵):

$$q = kh^x \quad (5)$$

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

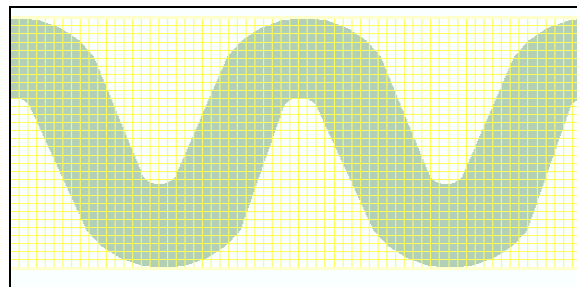
شبیه‌سازی جریان درون مجاری قطره‌چکان‌ها

شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار FLUENT

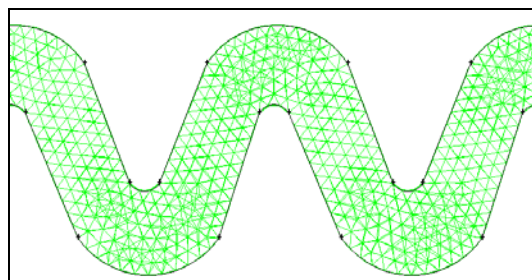
برای حل مدل جریان آرام توسط FLUENT هندسه مجاری عبور آب توسط نرم‌افزار Solid work ترسیم و جهت شبکه بندی وارد نرم‌افزار GAMBIT گردید. برای شبکه بندی از شبکه‌های چهار وجهی استفاده شد (شکل‌های ۸ و ۹). اطلاعات شبکه‌های استفاده شده در جدول (۲) ارائه شده است.

شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار FLOW 3D

نرم‌افزار FLOW3D بر خلاف نرم‌افزار FLUENT خود قادر به شبکه‌بندی می‌باشد. لذا هندسه مجاری عبور آب پس از ترسیم توسط نرم‌افزار Solid work مستقیماً وارد این نرم‌افزار گردید و مجاری قطره‌چکان‌ها به صورت چهار وجهی متعامد شبکه‌بندی شدند. به دلیل اینکه در FLOW3D شبکه‌بندی به صورت چهار وجهی متعامد می‌باشد و مجاری قطره‌چکان‌های مورد ارزیابی نیز دارای پیچ و خم و انحنا بود، گوشه‌هایی از دیواره‌های قطره‌چکان‌ها در وسط سلول‌های شبکه قرار می‌گرفت که باعث افزایش زمان حل مدل گردید. برای رفع این نقیصه سعی بر این شد که تا حد لازم شبکه‌بندی ریز گردد. اطلاعات شبکه‌های استفاده شده در جدول (۳) ارائه گردیده است.



شکل ۸- شبکه ایجاد شده برای قطره‌چکان C توسط FLOW3



شکل ۹- شبکه ایجاد شده برای قطره‌چکان C توسط GAMBIT

نوع قطره‌چکان	تعداد سلول‌ها	تعداد گره‌ها
A1	۲۹۴۸۲۲	۸۰۱۹۵
A2	۲۵۹۶۳۲	۷۱۳۷۱
A3	۳۰۸۱۵۰	۸۰۵۸۵
B	۲۲۹۸۹۱	۵۱۹۳۳
C1	۲۰۱۴۳۶	۴۳۹۲۷
C3 و C2	۲۳۰۹۸۹	۵۰۰۵۲

جدول ۲- مشخصات شبکه‌بندی قطره‌چکان‌ها توسط نرم‌افزار GAMBIT

صحت سنجی

جهت صحت سنجی نتایج حاصل از مدل‌سازی، از نتایج حاصل از آزمایشگاه استفاده گردید. بدین منظور دو پارامتر ابعاد شبکه (مش‌بندی) و ضریب زبری مسیر جریان مورد بررسی قرار گرفتند.

شبکه‌بندی

به منظور مدل‌سازی با دقت مناسب و کاهش زمان مورد نیاز در اجرای برنامه، مقایسه‌ای بین اندازه شبکه‌ها صورت گرفت تا مناسب‌ترین شبکه‌بندی انتخاب شود. برای رسیدن به این هدف تعدادی از شبیه‌سازی‌ها با سه اندازه مش ریز، متوسط و درشت اجرا شد. در شبکه‌های ریز مدت زمان اجرای برنامه، به شدت افزایش می‌یافت در حالیکه جواب نهایی با نتایج حاصل از مش‌های متوسط تفاوت معنی‌دار را نشان نمی‌داد. در نتیجه برای تمام قطره‌چکان‌ها ابعاد مشی انتخاب شد که تا حد متوسط ریز و یکنواخت باشد.

لازم به ذکر است که در کلیه آزمایش‌های عددی صورت گرفته، شبکه‌بندی طوری تعیین شد که پارامترهای کنترل شبکه از قبیل حداکثر نسبت ابعاد شبکه^۷ و ضریب نسبت ابعاد شبکه^۸ در راستاهای مختلف و در مجاورت یکدیگر به مقدار بهینه و مناسب انتخاب شده باشد. برای نتایج دقیق و موثر، مقدار هریک از دو پارامتر فوق باید به عدد یک نزدیک بوده و مقدار نسبت ابعاد شبکه در مجاورت یکدیگر از ۱/۳ و همچنین نسبت ابعاد شبکه در راستاهای مختلف از سه نباید بیشتر باشد (۴).

زبری مجرای جریان

زبری، یکی از پارامترهای متغیر جهت واسنجی مدل می‌باشد. نتایج حاصل از اعمال زبری‌های مختلف (۰، ۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۸ سانتی‌متر) نشان داد که در این قطره‌چکان‌ها اعمال ضرایب مختلف زبری، تأثیر چندانی در نتایج خروجی مدل (دبی خروجی قطره‌چکان‌ها) ندارد و در نهایت برای تمام قطره‌چکان‌های مورد آزمایش، ضریب زبری پلاستیک، یعنی عدد ۰/۰۰۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. شرایط مرزی مورد استفاده در هر دو نرم‌افزار عبارت بودند از: فشار در ورودی قطره‌چکان ثابت در نظر گرفته شد، فشار در خروجی قطره‌چکان به دلیل تخلیه آب به اتمسفر برابر با صفر فرض شد و بردارهای سرعت در جدارها صفر در نظر گرفته شد. برای حل مدل آرام همان شش فشار ۰، ۴، ۶/۱، ۹/۲، ۱۲/۲۵، و ۱۶/۳۳ متر ارتفاع آب که در آزمایشگاه به قطره‌چکان‌ها اعمال شدند مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

دبی به دست آمده از سه مدل آزمایشگاهی، FLUENT و FLOW3D به ترتیب در جدول‌های (۴) تا (۶) ارائه شده است با توجه به اینکه شبیه‌سازی نحوه توزیع سرعت و فشار جریان توسط هر دو نرم‌افزار یکسان بود و در مقاله‌های دلقندی و همکاران (۲۰۱۱)، نحوه توزیع سرعت و فشار جریان توسط نرم‌افزار FLUENT ارائه شده است و بحث کامل هیدرولیک جریان در مجاری این قطره‌چکان‌ها در این مقالات صورت گرفته است لذا در این مقاله از آوردن این مبحث صرف نظر می‌شود. بنابراین در این مقاله تنها به مقایسه کارایی این دو نرم‌افزار در محاسبه میزان جریان خروجی پرداخته شده است.

1- Maximum aspect ratio

2- Maximum adjacent cell size ratio

جدول ۳- مشخصات شبکه‌بندی قطره‌چکان‌ها توسط نرم‌افزار FLOW 3D

نوع قطره‌چکان	تعداد کل سلول‌ها	تعداد سلول‌های فعال
A1	۲۲۷۸۹۴	۹۵۹۳۶
A2	۱۷۸۳۰۳	۷۰۳۷۶
A3	۲۵۳۳۴۶	۱۰۶۰۸۰
B	۲۰۶۶۴۱	۱۴۴۷۲۳
C1	۲۷۷۸۶۰	۱۶۲۶۴۳
C3 و C2	۳۰۱۱۳۲	۱۷۵۴۴۴

جدول ۴- 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	۱/۰۲۴	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 ۵- دبی حاصل از مدل FLUENT (لیتر بر ساعت)

نوع قطره‌چکان						فشار (mH ₂ O)
C2, C1	C1	B1, B2, B3	A3	A2	A1	
۱/۱۱۷	۱/۰۷۶	۰/۶۳۷	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 ۶- دبی حاصل از مدل FLOW3D (لیتر بر ساعت)

نوع قطره‌چکان						فشار (mH ₂ O)
C2, C1	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 ۷- مقادیر ضرایب رابطه دبی - فشار قطره‌چکان‌ها، به دست آمده از سه مدل

مدل	قطره چکان	x	k
آزمایشگاهی	A1	۰/۵۷۲	۰/۳۷۲
	A2	۰/۵۸۶	۰/۳۲۱
	A3	۰/۵۶۷	۰/۴۰۱
	B	۰/۴۷۲	۰/۴۷۰
	C1	۰/۴۹۱	۰/۸۳۲
	C2, C3	۰/۴۹۵	۰/۸۳۵
FLUENT	A1	۰/۵۷۳	۰/۳۷۱
	A2	۰/۶۳۸	۰/۲۷۵
	A3	۰/۶۲۴	۰/۳۴۴
	B1,B2,B3	۰/۵۱۵	۰/۴۴۳
	C1	۰/۴۹۸	۰/۷۶۹
	C2, C3	۰/۵۰۶	۰/۷۶۹
FLOW3D	A1	۰/۵۸۲	۰/۳۸۵
	A2	۰/۵۷۸	۰/۳۳۳
	A3	۰/۵۷۹	۰/۳۹۱
	B1,B2,B3	۰/۴۵۵	۰/۴۹۴
	C1	۰/۵۲۷	۰/۶۹۷
	C2, C3	۰/۵۲۱	۰/۶۶۲

جدول ۸- خطای دو مدل در تعیین ضرایب معادله دبی - فشار بر حسب درصد

ضرایب معادله	مدل	قطره‌چکان						میانگین خطای همه قطره‌چکان‌ها
		A1	A2	A3	B	C1	C2, C3	
X	FLUENT	۰/۲	۸/۹	۱۰/۱	۹/۱	۱/۴	۲/۲	۵/۳
	FLOW3D	۱/۷	۱/۴	۲/۱	۶/۳	۷/۳	۵/۳	۴/۰
K	FLUENT	۰/۳	۱۴/۳	۱۴/۲	۵/۷	۷/۶	۸/۰	۸/۳
	FLOW3D	۳/۵	۳/۷	۲/۵	۵/۱	۱۶/۲	۲۰/۷	۸/۶

تعیین معادله دبی - فشار برای قطره‌چکان‌ها

رابطه دبی و فشار برای داده‌های به دست آمده از آزمایشگاه و نرم‌افزارهای FLUENT و FLOW3D توسط یک رگرسیون خطی چند متغیره تعیین گردید. در تعیین معادله فشار و دبی اندازه‌گیری شده برای قطره‌چکان‌های B1, B2, B3 و قطره‌چکان‌های A1 و A2 از میانگین دبی آن‌ها استفاده شد. ضرایب معادله دبی-فشار برای هر سه نوع قطره‌چکان و مدل‌های آزمایشگاهی، FLUENT و FLOW3D در جدول (۷) ارائه شده است. 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. مقدار خطای تعیین ضرایب معادله دبی-فشار حاصل از دو مدل نسبت به نتایج آزمایشگاه در جدول (۸) ارائه شده است. همان‌گونه که از این جدول مشخص است هر دو نرم‌افزار تقریباً خطای یکسانی در تعیین ضرایب معادله دبی - فشار مرتکب شده‌اند

در این تحقیق برای مقایسه و ارزیابی مقادیر دبی جریان اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه، X_m و مقادیر پیش بینی شده توسط نرم افزار، X_p از برازش داده‌ها به معادله رگرسیونی زیر استفاده شد:

$$x_p = \lambda \times x_m \quad (۶)$$

که در آن λ ، شیب بهترین خط برازش داده شده می‌باشد. $\lambda < 1$ نشان‌دهنده پیش‌بینی کمتر از مقدار واقعی و مقادیر $\lambda > 1$ ، نشان‌دهنده پیش‌بینی بیشتر از مقدار واقعی است. مقدار درصد متوسط خطای پیش‌بینی (E_r) که بر اساس برازش حاصل از معادله (۶) تعیین می‌شود، توسط رابطه زیر بیان می‌گردد (۳):

$$E_r = |(1 - \lambda)| \times 100 \quad (۷)$$

برابر با صفر درصد (بدون خطا) می‌باشد، در حالی که مدل FLUENT بیشترین خطا را برای قطره‌چکان C1 با خطایی برابر ۶/۲ درصد و کمترین مقدار خطا را برای قطره‌چکان A1، برابر با ۱ درصد نشان می‌دهد. متوسط E_r با میانگین‌گیری از E_r کل قطره‌چکان‌ها برای نرم‌افزار FLOW3D، ۵/۵ درصد و برای نرم‌افزار FLUENT، ۳/۶ درصد به دست آمد که نشان دهنده این است که با اینکه نرم‌افزار FLUENT نسبت به نرم‌افزار FLOW3D دارای میانگین خطای کمتری است ولی می‌توان گفت که هر دو مدل به خوبی توانسته‌اند جریان آرام درون قطره‌چکان‌های مورد مطالعه را شبیه‌سازی نمایند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق دبی خروجی از مجاری سه نوع قطره‌چکان با کدهای A، B و C محاسبه گردید که بدین منظور از دو نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی FLOW3D و FLUENT با فرض آرام بودن جریان درون مجاری استفاده گردید. مقایسه نتایج حاصل از دو مدل FLOW3D و FLUENT با نتایج آزمایشگاهی، نشان داد که هر دو مدل FLOW3D و FLUENT مقدار دبی را برای قطره‌چکان‌های نوع C کمتر و برای قطره‌چکان‌های نوع B بیشتر از مقدار واقعی شبیه‌سازی نمودند و در مورد قطره‌چکان نوع A، مدل FLOW3D مقدار دبی را بیشتر از مقدار واقعی و مدل FLUENT مقدار دبی را کمتر از مقدار واقعی برآورد نموده است. مقدار میانگین خطای متوسط پیش‌بینی دبی برای نرم‌افزار FLOW3D، ۵/۵ درصد و برای نرم‌افزار FLUENT، ۳/۶ درصد تعیین گردید که نشان می‌دهد که هر دو مدل FLOW3D و FLUENT با دقت خوبی قادر به پیش‌بینی جریان آرام داخل مجاری قطره‌چکان‌های مورد مطالعه می‌باشد و گزینه مناسبی برای بهینه کردن طراحی قطره‌چکان‌ها و کاهش زمان و هزینه تولید آن‌ها به شمار می‌روند.

نتایج حاصل از دو مدل ریاضی توسط نمودارهای اسکاتر پلات با نتایج آزمایشگاهی مقایسه و نتایج آن در جدول (۹) ارائه شده است. برای نتیجه‌گیری کلی‌تر لازم است که از نتایج حاصل از سه مدل برای قطره‌چکان‌های A1، A2، A3 و C1، C2 نیز به صورت جداگانه میانگین‌گیری گردد که در جدول (۱۰) میانگین نتایج هر نوع قطره‌چکان ارائه شده است. برای این منظور از میانگین نتایج به دست آمده برای سه قطره‌چکان استفاده شد به عبارتی دیگر میانگین نتایج قطره‌چکان‌های A1، A2 و A3 با عنوان قطره‌چکان A، میانگین نتایج سه قطره‌چکان B1، B2 و B3 با عنوان قطره‌چکان B و میانگین نتایج سه قطره‌چکان C1، C2 و C3 با عنوان قطره‌چکان C در نظر گرفته شد. در این نمودارهای اسکاتر پلات خط پر نشانگر خط رگرسیون و خط منقطع نشانگر خط ۴۵ درجه است. انحراف خط رگرسیون از خط منقطع، مقدار E_r را نشان می‌دهد. شکل (۱۰) به عنوان نمونه از این نمودارها ارائه شده است و نتایج مقایسه میانگین نتایج سه قطره‌چکان در جدول (۱۱) ارائه شده است.

با توجه به جدول‌های (۹) و (۱۱)، مقایسه نتایج حاصل از مدل FLOW3D و آزمایشگاه نشان می‌دهد که برای قطره‌چکان‌های نوع A و B، مقدار λ بزرگتر از ۱ و برای قطره‌چکان نوع C، کوچکتر از یک می‌باشد، بدین معنی که مدل آرام حاصل از FLOW3D مقدار دبی را برای قطره‌چکان‌های نوع A و B، بیشتر از مقدار واقعی و برای قطره‌چکان C، کمتر از مقدار واقعی محاسبه می‌نماید در صورتی که نرم‌افزار FLUENT برای قطره‌چکان‌های A و C، مقدار دبی را کمتر از مقدار واقعی و برای قطره‌چکان نوع B، بیشتر از مقدار واقعی محاسبه نموده است. به طور کلی هر دو نرم‌افزار دبی قطره‌چکان نوع C را کمتر و دبی قطره‌چکان نوع B را بیشتر از مقدار واقعی محاسبه نموده‌اند و در مورد قطره‌چکان نوع A، نتیجه‌ای عکس هم دارند. مقادیر E_r جدول (۹) نیز نشان می‌دهد که حداکثر مقدار درصد متوسط خطای پیش‌بینی برای مدل FLOW3D برابر با ۱۵/۸ درصد مربوط به قطره‌چکان‌های C2، C3 و حداقل آن مربوط به قطره‌چکان A3 و

جدول ۹- مقادیر E_r و λ حاصل از مقایسه مدل‌ها برای کل قطره‌چکان‌ها

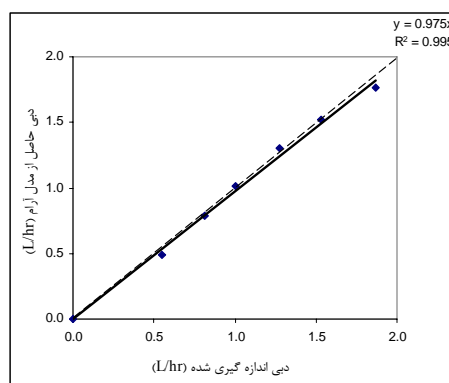
میانگین E_r قطره‌چکان‌ها	C2,C3		C1		B1,B2,B3		A3		A2		A1		ضرایب رگرسیون
	E_r	λ	E_r	λ	E_r	E_r	E_r	λ	E_r	λ	E_r	λ	
آزمایشگاه-FLUENT	۳/۶	۰/۹۶۴	۶/۲	۰/۹۳۸	۴/۳	۳/۹	۲/۶	۰/۹۷۴	۳/۹	۰/۹۶۱	۱	۰/۹۹۰	
آزمایشگاه-FLOW3D	۵/۵	۰/۸۲۴	۹/۱	۰/۹۰۹	۱/۵	۵/۳	۰	۱/۰۰۰	۱/۳	۱/۰۱۳	۵/۴	۱/۰۵۴	

جدول ۱۰- میانگین دبی حاصل از آزمایشگاه و دو مدل محاسباتی مورد مطالعه (لیتر بر ساعت)

مدل FLOW3			مدل FLUENT			آزمایشگاه			فشار (mH ₂ O)
C	B	A	C	B	A	C	B	A	
۰/۹۶۸	۰/۶۸۱	۰/۵۴۶	۱/۰۹۷	۰/۶۳۷	۰/۴۹۰	۱/۱۵۴	۰/۶۴۶	۰/۵۵۰	۲
۱/۴۲۷	۰/۹۲۹	۰/۸۳۵	۱/۵۶۳	۰/۸۹۶	۰/۷۸۳	۱/۷۰۱	۰/۹۱۶	۰/۸۱۵	۴
۱/۷۶۱	۱/۱۲۴	۱/۰۷۰	۱/۹۳۱	۱/۱۱۹	۱/۰۱۳	۲/۰۷۹	۱/۱۰۸	۱/۰۰۶	۶/۱
۲/۱۷۷	۱/۳۵۸	۱/۳۵۰	۲/۳۶۹	۱/۳۸۷	۱/۳۰۲	۲/۳۹۹	۱/۳۲۴	۱/۲۷۵	۹/۲
۲/۵۲۵	۱/۵۵۱	۱/۵۸۱	۲/۷۴۱	۱/۶۰۵	۱/۵۲۲	۲/۸۶۵	۱/۵۵۴	۱/۵۳۳	۱۲/۲۵
۲/۹۳۱	۱/۷۷۴	۱/۸۵۰	۳/۱۴۵	۲/۸۷۴	۱/۷۶۲	۳/۳۴۷	۱/۷۳۹	۱/۸۶۷	۱۶/۳۳

جدول ۱۱- مقادیر E_r و λ حاصل از مقایسه میانگین نتایج دو مدل محاسباتی با نتایج حاصل از آزمایشگاه برای هر سه نوع قطره‌چکان

C		B		A		قطره‌چکان
E_r	λ	E_r	λ	E_r	λ	ضرایب رگرسیون
۵/۱	۰/۹۴۹	۴/۳	۱/۰۴۳	۲/۵	۰/۹۷۵	آزمایشگاه- FLUENT
۱۲/۶	۰/۸۷۴	۱/۵	۱/۰۱۵	۱/۹	۱/۰۱۹	آزمایشگاه- FLOW3D



شکل ۱۰- نمودار مربوط به مقایسه میانگین نتایج دو مدل آزمایشگاهی و مدل آرام حاصل از FLUENT برای قطره‌چکان A

منابع

- دلقندی، م. س. برومند نسب، م. بهزاد و قلمباز. ۱۳۸۷. هیدرولیک جریان درون قطره‌چکان‌ها با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی. مجله آبیاری و زهکشی ایران، جلد شماره ۲، شماره ۱، صفحات ۸۳-۵۷.
- دلقندی، م. س. بهزاد، م. برومند نسب. ۱۳۸۹. بررسی و تحلیل خصوصیات هیدرولیک جریان در مجاری ریز قطره‌چکان‌های ماریچی با استفاده از نرم‌افزار FLUENT. نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۴، صفحات ۷۱۴-۶۹۹.
- Esfandiari, M. and B. L. Maheshwari. 2001. Field evaluation of furrow irrigation models. Journal of Agricultural Engineering Research, 79(4): 459-479.
- FlowScienc. (2009). Flow3D v9.3 user manual.
- Keller, J. and R. D. Blaisner. (1990). Sprinkle and trickle irrigation. New York. USA: Champan and Hall.

6. Li G.Y., Wang G. D., Alam, M. and Y. F. Zhao. 2006. Influence of geometrical parameters of labyrinth flow path of drip emitters on hydraulic and anti-clogging performance. *ASAE*, 49(3): 637-643.
7. Li Y.K., Yang, P. L., Xu, T. W. and S. M. Ren. 2006. Hydraulic characterization of tortuous flow in path drip irrigation emitter. *Hydrodynamics. Ser, B*, 18(4): 449-457
8. Li, Y. K., Yang, P.L., Xu, T. W., Ren, S. M., Lin, X.C., Wei, R. J. AND H. B. Xu.2008. CFD and digital particle tracking to assess flow characteristics in the labyrinth flow path of a drip irrigation emitter. *Irrig*, 26:427-438.
9. Meneveau C. and Katz. J. 2000. Scale-invariance and turbulence models for Large-Eddy-Simulation. *Annu. Rev. Fluid Mech.* 32. 1.
10. Ozekici, B., Sneed, R. E. and E. Ronald.1991. Analysis of pressure losses in tortuous path emitters. *ASAE Paper No.* 912155
11. Palau-Salvador, G., Arviza-Valverde, and V. F Bralts.2004. Hydraulic flow behavior through an in-line emitter labyrinth using CFD techniques. *ASAE Paper No.* 042252.
12. Wang, W., Wang, F. and F. Zhao.2006. Simulation of unsteady flow in labyrinth emitter of drip irrigation system. *Computers in Agriculture and Natural Resources, 4th World Congress Conference.* ASAE.
13. Wei, Q. S., Shi, Y. S., Lu, J., Dong, W. C. and S. H. Huang.2004. Study on theory and process to rapidly develop drip emitters with low cost. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* 21: 17-21.
14. Wei, Q. S, Shi, Y. S., Lu, J., Dong, W. C. and S. H. Huang S.H.2006. Study on hydraulic performance of drip emitters by computational fluid dynamics. *Agricultural Water Management*, 84: 130-136.
15. Wei, Q. S., Shi, Y. S., Lu, J., Dong, W. C. and S.H. Huang.2006. Study of hydraulic performance of the eddy channel for drip emitters. *Irrigation and Drainage*, 55(1):61-72
16. Wei, Q. S., Shi, Y. S., Lu, J., Dong, W. C. and S.H. Huang.2006. Advanced methods to develop drip emitters with new channel. *Applied Engineering in Agriculture*, 22(2): 243-249. ASAE.
17. Yan, D. H., Yang, P. L., Ren, S. M. and Y. K. Li:2007. Numerical study on flow property in dentate path of drip emitters. *Agricultural Research*, 50: 705-712.