شبیه سازی اثر دما بر جریان خروجی از قطره‌چکان‌ها

مهدی دلقندی[1*]، سعید برومند نسب[2]، مجید بهزاد[3] و معصومه فراستی[4]

۱* - نویسنده مسئول، دانشجویان دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز m_delghandi@yahoo.com
۲و۳- اساتید گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز
۴- دانشجویان دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۴/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۰/۲/۱۴

چکیده

قطره‌چکان‌ها که مهمترین قسمت آبیاری قطره‌ای محسوب می‌شوند، به منظور خروج آهسته و یکنواخت آب طراحی شده اند. یکنواختی خروج آب از قطره‌چکان‌ها به عوامل متعددی از جمله دمای آب وابسته است. تغییرات دمایی روی خصوصیات آب، مخصوصاً لزجت آن تأثیر می‌گذارد که می‌تواند یک عامل تأثیر گذار بر دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها باشد. مطالعه صحرایی و آزمایشگاهی بر روی این موضوع هزینه بر و وقت گیر می‌باشد. دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) یک ابزار مفید برای مطالعه رفتار جریان در مجاری آب به شمار می‌رود. لذا در این تحقیق تأثیر دما بر دبی سه نمونه از یک نوع قطره چکان تیپ پلاک دار تحت شش فشار ۲، ۴، ۶/۱، ۹/۲، ۱۲/۲۵و ۱۶/۳۳ متر ارتفاع آب و هر فشار در شش دمای ۵، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۵، ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد توسط CFD شبیه سازی گردید. بدین منظور، پس از تعیین اندازه مجاری قطره‌چکان‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی (SEM)، دبی آن ها توسط CFD محاسبه شد. صحت سنجی نتایج نشان داد که نتایج حاصله از شبیه سازی مطابقت خوبی با نتاج آزمایشگاهی دارد. مقدار متوسط خطای پیش بینی دبی برای مدل آرام حدود ۴ درصد و برای مدل آشفته حدود ۹ درصد می باشد و همچنین مشخص گردید دبی قطره‌چکان‌های مورد مطالعه نسبت به تغییرات دمایی حساس نمی باشد و دینامیک سیالات محاسباتی می‌تواند ابزار بسیار مناسبی برای کاهش هزینه و زمان مطالعه خصوصیات هیدرولیکی قطره چکان های با مجاری مارپیچ باشد.

کلید واژه‌ها: *دبی قطره‌چکان، دما، دینامیک سیالات محاسباتی، شبیه سازی.*

مقدمه

قطره‌چکان که مهمترین قسمت آبیاری قطره‌ای محسوب می‌گردد، به منظور کاهش فشار آب داخل لوله فرعی و خروج یکنواخت آن، مورد استفاده قرار می گیرد (ژانگ و همکاران[1]، ۲۰۰۷). قطره‌چکان‌ها باید به نحوی عمل کنند که مقدار دبی خروجی از آن‌ها نسبتاً یکنواخت باقی بماند. در اکثر مطالعات انجام شده در مورد ارزیابی قطره‌چکان‌ها، تغییرات دبی نسبت به تغییرات فشار مورد بررسی قرار گرفته است. در صورتی که یکنواختی خروج آب از قطره‌چکان‌ها به عوامل دیگری مانند ضریب تغییرات ساخت، گرفتگی قطره‌چکان‌ها و دمای آب نیز مربوط می باشد (وو و همکاران[2]، ۲۰۰۳). ضریب تغییرات ساخت قطره‌چکان‌ها که تحت کنترل طراح سیستم آبیاری قطره‌ای نمی‌باشد برای اغلب قطره‌چکان‌های مارپیچ، کوچک و حدود ۰/۱ می باشد. گرفتگی قطره‌چکان‌ها نیز با انتخاب سیستم فیلتراسیون مناسب قابل کنترل می‌باشد. اما دمای آب یک پارامتر غیر قابل کنترل و متغیر می‌باشد که روی مقدار و یکنواختی خروج آب از قطره‌چکان‌ها موثر می باشد (ون برنوث و سلمان[3]، ۱۹۸۶). دمای آب از یک طرف با انقباض و انبساط موادی که قطره چکان از آن ساخته شده است و از طرفی دیگر با تغییر ویسکوزیته آب دبی قطره‌چکان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با تغییر ویسکوزیته آب، عدد رینولدز نیز تغییر می‌کند(پنگ و همکاران[4]، ۱۹۸۶). علاوه بر آن تغییرات دمایی باعث تغییر ضریب اصطکاک لوله فرعی و قطره چکان‌ها می گردد. پارچوم چوک[5] (۱۹۷۶) نشان داد که تغییر دما از ۲۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد باعث تغییر ۵۳ درصدی دبی در میکروتیوپ‌ها و قطره‌چکان‌هایی که جریان در مجاری آن‌ها آرام و ناپایدار بود، گشت. دبی قطره‌چکان‌های روزنه‌ای به ازای تغییر دما از ۷ تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد تغییر چندانی نداشت ولی دبی قطره‌چکان‌های گردابی با افزایش دما از ۸ تا ۳۸

1. Zhang et al.
2. Wu et al.
3. Von Bernuth and Solomon
4. Peng et al.
5. Parchomchuk

درجه سانتی‌گراد به مقدار ۸ درصد کاهش پیدا کرد. نتایج مشابهی توسط دکرکس و مالاوال[1] (۱۹۸۵) برای قطره‌چکان‌های طولانی مسیر با x بزرگتر از ۰/۵ (افزایش دبی با افزایش دمای آب) و قطره‌چکان‌های گردابی با x کوچکتر از ۰/۵ (کاهش دبی با افزایش دمای آب) گزارش گردید. زور و تال[2] (۱۹۸۱) حساسیت سه نوع قطره‌چکان حلزونی شکل را نسبت به دما تعیین و مشاهده کردند که تغییرات دبی به طور معناداری کمتر از نتایج پیش بینی شده بر اساس تغییرات لزجت بود. کلارک و همکاران[3] (۲۰۰۵) دبی دو نوع نوار تیپ را تحت سه فشار و پنج دمای مختلف تعیین نمودند و نتیجه گرفتند دبی نوار روبرت رو دریپ[4] به تغییرات دمایی حساس بوده و نوار تی تیپ[5] حساسیتی به تغییرات دمایی نشان نمی‌دهد. همچنین مشخص گردید با افزایش ضخامت قطره‌چکان، تأثیر دما بر دبی خروجی از آن کاهش می‌یابد. سینوباس[6] (۱۹۹۹) با مطالعه ۶ نوع قطره‌چکان نشان داد که با افزایش دما دبی قطره‌چکان‌های طولانی مسیر مارپیچی، به میزان ۰/۷ درصد افزایش و دبی قطره‌چکان‌های گردابی به میزان ۰/۴ درصد کاهش می‌یابد. به طور کلی از مطالعات انجام شده، چنین نتیجه می‌گردد که در رژیم جریان آرام دبی قطره‌چکان‌ها به دمای آب بسیار وابسته می‌باشد، اما در جریانات آشفته ضریب اصطکاک با تغییرات عدد رینولدز، تغییر چندانی نمی‌کند و به طور کلی می‌توان گفت ضریب اصطکاک در قطره‌چکان‌های با جریان آشفته (قطره‌چکان‌های با نمای دبی x=۰/۵) مستقل از عدد رینولدز است. با این وجود بسیاری از نوارهای آبیاری قابل جمع‌آوری، قطره‌چکان هایی با x بین ۰/۵ تا ۰/۷ دارند که دبی آن‌ها به دمای آب حساس می‌باشد. از طرفی با توجه به تنوع قطره‌چکان‌ها، تولید قطره‌چکان‌های جدید و اهمیت این موضوع تحقیقات انجام شده کافی به نظر نمی‌رسد. در مناطقی از کشور ما، در برخی از ماه‌های سال دمای هوا از ۵۰ درجه سانتی‌گراد نیز تجاوز می‌کند. لذا ضروری به نظر می‌رسد که تحقیقات بیشتری در این زمینه صورت گیرد. از طرف دیگر تحقیقات مزرعه‌ای و آزمایشگاهی همیشه هزینه‌بر و وقت‌گیر بوده و اطلاعات چندانی از خصوصیات هیدرولیکی جریان درون مجاری قطره‌چکان ارائه نمی‌دهند. مدل‌های کامپیوتری می‌توانند راه حل مناسبی برای کاهش هزینه، زمان و همچنین بررسی خصوصیات هیدرولیکی قطره‌چکان‌ها باشد. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های کامپیوتری FLUENT، ANSYS و Flow 3D اشاره نمود. هزینه پایین، سرعت بالا و در اختیار قراردادن اطلاعات کامل، از مزایای کاربرد این مدل‌ها محسوب می‌شود. مطالعاتی نیز در این زمینه صورت گرفته است ازجمله، وی و همکاران[7] (۲۰۰۶a) 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 ذوزنقه‌ای از نظر ایجاد افت فشار کارایی بالاتری دارد. وی و همکاران (۲۰۰۶b) درتحقیقی به شبیه‌سازی جریان درون قطره‌چکان‌های گردابه‌ای پرداختند و عنوان نمودند که افت فشار عمدتاً در حفره‌های مخروطی شکل مجاری اتفاق می‌افتد. وانگ و همکاران[8] (۲۰۰۶)، درتحقیقی با استفاده از مدل ناپایدار و چند فازی VOF به شبیه سازی جریان غیر ماندگار در مجاری قطره چکان‌ها پرداختند. ژانگ و همکاران[9] (۲۰۰۷)، تحقیقی در مورد هیدرولیک جریان در مجاری مارپیچ قطره‌چکان‌ها انجام دادند. در این تحقیق رابطه بین سرعت جریان و فشار در مجراهای مارپیچ و کوچک قطره چکان‌ها توسط دینامیک سیالات محاسباتی تعیین شد. نتایج این تحقیقات نشان داد که در فشار های ۴۰ تا ۱۶۰ کیلو پاسکال مدل آشفته نسبت به مدل جریان آرام نتایج بهتر و دقیقتری می‌دهد. یان و همکاران[10] (۲۰۰۷)، برای آنالیز تأثیر پارامترهای هندسی قطره‌چکان‌ها، از CFD استفاده نمودند و مشاهده کردند که زوایای بزرگتر دندانه‌ها، تأثیر زیادی روی افزایش کارایی هیدرولیکی قطره‌چکان‌ها دارد. لی و همکاران[11] (۲۰۰۸)، تحقیقی در رابطه با ردیابی ذرات درون مجاری مارپیچ قطره چکان با استفاده از CFD انجام دادند و عنوان نمودند که اختلاف بین دبی های حاصل از اندازه‌گیری و شبیه سازی ۱۰ درصد بوده است. در این تحقیق، برای بررسی تأثیر دما بر دبی قطره‌چکان‌های نواری، رفتار جریان داخل مجاری یک نوع قطره‌چکان در دماهای مختلف توسط دینامیک سیالات محاسباتی شبیه سازی گردید. برای این منظور نرم افزار FLUENT به دلیل کارایی بالای آن در مسائل مربوط به جریان سیالات انتخاب گردید. یکی دیگر از اهداف این تحقیق تعیین کارایی CFD در شبیه سازی خصوصیات جریان در مجاری قطره‌چکان‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

انتخاب قطره‌چکان‌ها

با بررسی انواع مختلف قطره‌چکان‌های موجود در بازار، سه نمونه از یک نوع قطره چکان تیپ پلاک دار که تقریباً صلب می‌باشد، برای مطالعه انتخاب گردید و با کدهای A1 ، A2 ، A3 نامگذاری گردید. در شکل ۱، تصویر قطره‌چکان نمایش داده شده است. طول مسیر جریان آب درون قطره‌چکان برابر با ۲۷ میلی‌متر می‌باشد. این قطره‌چکان به دلیل، سادگی هندسه مجاری عبور آب که این امکان را فراهم می‌ساخت که بتوان با امکانات موجود اندازه مجاری را تعیین نمود و صلب بودن آن که باعث می‌گردد اثر دما بر ابعاد قطره‌چکان به حداقل برسد، برای مطالعه حاضر انتخاب شد.

1. Decroix and Malaval
2. Zur and Tal
3. Clark et al.
4. Robert's Ro-Drip
5. T-Tape
6. Sinobas
7. Wei et al.
8. Wang et al.
9. Zhang et al.
10. Yan et al.
11. Li et al.

تعیین اندازه مجاری قطره چکان ها

نمونه های قطره چکان انتخابی، تخریب و چندین برش طولی و عرضی از مجاری آن تهیه گردید. برای تعیین اندازه مجاری، از برشهای تهیه شده عکسبرداری شد. بدین منظور از میکروسکوپ الکترونی[1] (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 نمونه‌ای از این تصاویر در شکل ۲ نمایش داده شده است. پس از تعیین اندازه مجاری، شکل و هندسه آن‌ها توسط نرم افزار Solid work ترسیم شد که تصویر و اندازه‌های مربوط به مجاری، در اشکال ۳ و ۴ و جدول ۱ ارائه گردیده است. در شکل ۴، d عمق جریان و w عرض جریان می‌باشد. همانگونه که در جدول ۱ مشخص می‌باشد اندازه مجاری هر سه قطره‌چکان A1 ، A2 و A3 یکسان می-باشد.

تشخیص رژیم جریان

برای تشخیص رژیم جریان، از عدد رینولدز استفاده می‌شود.

$$R_e = \frac{\rho V R}{\mu} \qquad (۱)$$

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

$$R = \frac{wd}{2(w+d)} \qquad (۲)$$

با تعیین شعاع هیدرولیکی قطره‌چکان‌ها، مقدار عدد رینولدز با فرض مقدار Kg/m^3 ۹۹۸ و kg/m.s ۰/۰۰۱۰۰۳ به ترتیب برای جرم مخصوص و لزجت در دبی‌های مختلف بین ۵۷ تا ۱۵۰ متغیر می‌باشد. برای این بازه از عدد رینولدز، جریان می‌تواند آرام باشد. اما تعدادی از مطالعات از جمله فاهلر و همکاران[2] (۱۹۹۰)، هارلی و همکاران[3] (۱۹۹۵)، کاندالیکار و همکاران[4] (۲۰۰۳)، نشان دادند که تبدیل جریان از حالت آرام به آشفته در مجراهای با مساحت مقطع mm^2 ۱/۰ 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 ناویر استوکس استفاده می گردد (ژانگ و همکاران[5]، ۲۰۰۷).

معادله پیوستگی

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

معادله مومنتم

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

معادلات حاکم بر جریان آشفته

برای حل جریانات آشفته علاوه بر معادلات ناویر استوکس، از معادلات کمکی دیگری نیز استفاده می‌گردد. از جمله این معادلات می‌توان به مدل‌های k-ε، مدل‌های k-ω و مدل تنش رینولدز(RSM) اشاره کرد. (هینز[6]، ۱۹۷۵). معمولاً برای اغلب محاسبات مهندسی از مدل k-ε استاندارد استفاده می‌شود. بنابراین در این مطالعه نیز مدل مذکور انتخاب شد. معادلات حاکم دراین مدل عبارتند از (منوییو و کاتز[7]، ۲۰۰۰) :

معادله K

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

معادله ε

$$\rho \frac{\partial u_j \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i}[\frac{\mu_e}{\sigma_\varepsilon}\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i}] + C_{\varepsilon 1}\frac{\varepsilon}{K}G_K - C_{\varepsilon 2}\rho\frac{\varepsilon^2}{K} \qquad (۶)$$

$$\mu_e = \mu + \mu_t \qquad (۷)$$

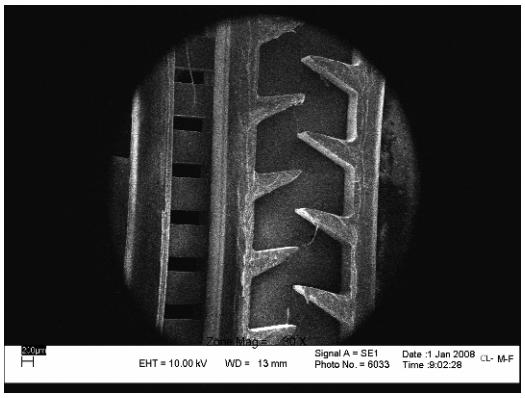
$$\mu_t = \frac{C_\mu \rho K^2}{\varepsilon} \qquad (۸)$$

$$G_K = \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j}(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}) \qquad (۹)$$

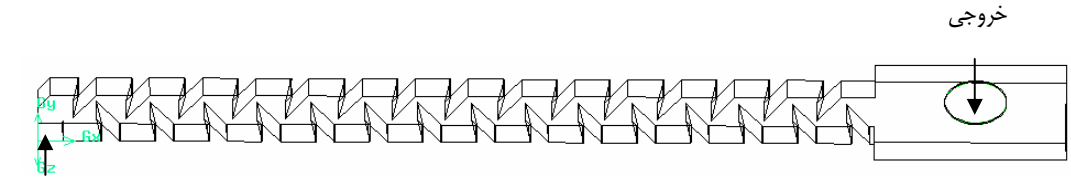
1. Scanning Electronic Microscope
2. Pfahler et al.
3. Harley et al.
4. Kandilikar
5. Zhang et al.
6. Hinze
7. Meneveau and Katz



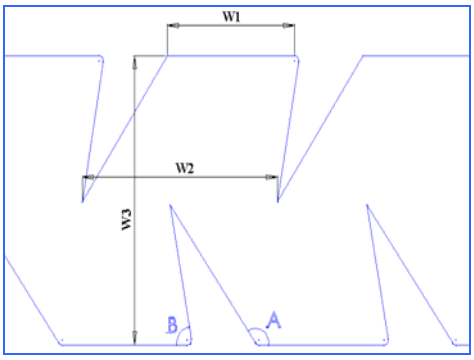
شکل ۱- تصویر قطره چکان



شکل ۲- تصویر پلان قطره چکان توسط SEM



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



شکل ۴- شکل دو بعدی یک واحد قطره‌چکان

جدول ۱- ابعاد قطره چکان‌ها

نوع قطره‌چکان	d(mm)	W1(mm)	W2(mm)	W3(mm)	A (deg)	B (deg)
A1، A2 و A3	۰/۶۵۸	۰/۹۳۰	۱/۳۸۶	۱/۷۴۷	۱۲۴	۸۲

در معادلات ۳ تا ۹، 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_e مجموع لزجت گردابه‌ای و لزجت سیال، A_μ ، $A_{\varepsilon1}$ ، $A_{\varepsilon2}$، σ_ε و σ_K ضرایب تصحیح هستند. ضرایب فوق بنا به پیشنهاد لاندر و اسپالدینگ[1] (۱۹۷۴) به شرح زیر در نظر گرفته شده‌اند.

$$A_\mu = 0.09 \ , \ A_{\varepsilon1} = 1.44 \ , \ A_{\varepsilon2} = 1.92 \ , \ \sigma_k = 1.0 ،$$
$$\sigma_\varepsilon = 1.3$$

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. 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-ε، از نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی، FLUENT استفاده شد. برای این منظور هندسه مجرای عبور آب توسط نرم‌افزار Solid work ترسیم و جهت مش‌بندی وارد نرم افزار GAMBIT گردید. برای مش‌بندی از مش‌های چهاروجهی و از نوع Tgrid استفاده شد.

در شکل ۵، مش‌بندی مجاری نمایش داده شده است و اطلاعات مش‌های استفاده شده در جدول ۲ ارائه شده است.

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- بردار های سرعت در جداره‌ها صفر در نظر گرفته شد.

برای حل مدل، ۶ فشار ۲، ۴، ۶/۱، ۹/۲، ۱۲/۲۵ و ۱۶/۳۳ متر ارتفاع آب و ۶ دمای ۵، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۵، ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد 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 ۱/۲Pmax باشد که Pmax حداکثر فشار پیشنهاد شده توسط کارخانه سازنده می‌باشد. که برای قطره‌چکان‌های مورد آزمایش ۱/۲Pmax کمتر از ۱۰ متر ارتفاع آب می‌باشد. اعشاری بودن اعداد نیز به دلیل تبدیل واحد بار به متر ارتفاع آب می باشد.

دبی متناظر با هر فشار در دماهای مختلف بر اساس دو مدل آرام و آشفته محاسبه و نحوه توزیع سرعت و فشار جریان در قطره‌چکان‌ها نیز مشخص گردید.

1. Launder and Spalding

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 در دمای استاندارد ۲۰ درجه سانتی‌گراد، براساس ضوابط ارائه شده در استاندارد ISO9261 صورت گرفت (سازمان استاندارد جهانی ۲۰۰۴)[2]. فشارهای کارکرد قطره‌چکان‌ها 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 ۶ ارائه شده است. 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 فشار های مختلف، با میانگین‌گیری از نتایج سه تکرار تعیین گردید.

رابطه دبی – فشار

رابطه دبی – فشار توسط معادله زیر بیان می شود (کلر و بلیسنر[3]، ۱۹۹۰).

$$q = kh^x \qquad (۱۰)$$

که q دبی جریان، k ضریب معادله دبی، x نمای معادله دبی و h فشار می باشد. 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 قطره‌چکان‌هائی که دارای مقدار x کمتری باشند، نسبت به قطره‌چکان‌هایی که x بزرگتری دارند مناسبترند.

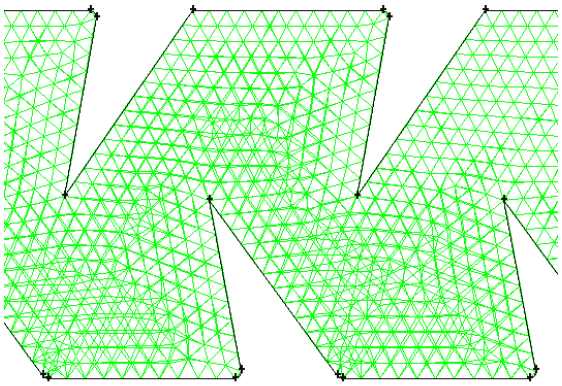
رابطه دبی- دما[4] (TDR)

رابطه دبی–دما معمولاً توسط معادله ذیل بیان می شود (کلر و بلیسنر[29]، ۱۹۹۰) و (استاندارد ASAE ، ۲۰۰۳).

$$\mathrm{TDR} = \frac{q_{t^o}}{q_{20^o}} \qquad (۱۱)$$

q_{t^o} دبی قطره چکان در دمای t و q_{20^o} دبی قطره‌چکان در دمای ۲۰ درجه می باشد.

2 . International Standards Organization
3. Keller and Blaisner
4. Temperature discharge ratio



شکل ۵- شبکه ایجاد شده برای مجرای قطره‌چکان

جدول ۲- مشخصات مش بندی قطره‌چکان‌ها

تعداد سلول ها	تعداد سطوح	تعداد گره ها
۲۲۹۸۹۱	۴۸۵۶۲۳	۵۱۹۳۳

جدول ۳- دبی به دست آمده از آزمایشگاه (L/hr)

فشار(mH_2O)	نوع قطره چکان		
	A1	A 2	A 3
۲	۰/۶۴۴	۰/۶۴۷	۰/۶۴۷
۴	۰/۹۱۵	۰/۹۱۵	۰/۹۱۷
۶/۱	۱/۱۰۹	۱/۱۰۶	۱/۱۰۹
۹/۲	۱/۳۳۱	۱/۳۲۰	۱/۳۲۲
۱۲/۲۵	۱/۵۵۴	۱/۵۵۰	۱/۵۵۸
۱۶/۳۳	۱/۷۳۵	۱/۷۳۸	۱/۷۴۴



شکل۶- سیستم آبرسانی به قطره‌چکان‌ها

جدول ۴- دبی به دست آمده ازسه مدل در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد (L/hr)

فشار(mH_2O)	نوع مدل		
	آزمایشگاه	آرام	آشفته
۲	۰/۶۴۶	۰/۶۳۴	۰/۶۶۸
۴	۰/۹۱۶	۰/۸۹۶	۰/۹۴۸
۶/۱	۱/۱۰۸	۱/۱۱۹	۱/۱۷۸
۹/۲	۱/۳۲۴	۱/۳۸۷	۱/۴۵۰
۱۲/۲۵	۱/۵۵۴	۱/۶۰۵	۱/۶۸۸
۱۶/۳۳	۱/۷۳۹	۱/۸۷۴	۱/۹۴۶

نتایج و بحث

دبی به دست آمده از آزمایشگاه برای هر سه قطره‌چکان در جدول۳ ارائه شده است. همانگونه که از ابعاد قطره‌چکان‌ها انتظار می‌رفت دبی هر سه قطره‌چکان تقریباً یکسان می‌باشد. لذا جهت مقایسه دبی حاصل از آزمایشگاه با دو مدل آرام و آشفته از میانگین دبی سه قطره‌چکان استفاده گردید. در جدول۴، دبی حاصل از سه مدل، آزمایشگاهی، آرام و آشفته تحت دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در فشار های مختلف ارائه شده است.

تعیین معادله دبی - فشار برای قطره‌چکان‌ها

رابطه دبی و فشار برای داده‌های به دست آمده از آزمایشگاه و نرم-افزار توسط یک رگرسیون خطی چند متغیره تعیین گردید. ضرایب معادله دبی–فشار برای مدل‌های آزمایشگاهی، آرام و آشفته در جدول ۵ داده شده است. مقادیر x و k معادله دبی و فشار ذکر شده در جدول ۵، نشان می‌دهد که مقدار x حدود ۰/۵ می‌باشد که می‌توان قطره‌چکان را از این نظر جزء قطره‌چکان‌های با جریان آشفته لحاظ نمود.

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

$$Y=\lambda X \qquad (۱۱)$$

که X و Y مقادیر حاصل از هر یک از مدل‌ها (مدل‌های آرام، آشفته و آزمایشگاهی) و λ شیب بهترین خط برازش داده شده می‌باشد. $\lambda<۱$ نشان دهنده مقادیر کمتر Y نسبت به X و $\lambda>۱$ نشان دهنده مقادیر بیشتر Y نسبت به مقادیر X می باشد و مقدار درصد متوسط خطای پیش بینی (E_r) توسط رابطه زیر بیان می گردد:

$$E_r = |(1-\lambda)| \times 100 \qquad (۱۲)$$

نتایج حاصل از سه مدل توسط نمودارهای اسکاتر پلات با هم مقایسه شدند. در این نمودارها خط پر نشانگر خط رگرسیون و خط‌چین، نشانگر خط ۴۵ درجه است که انحراف خط رگرسیون از خط منقطع، مقدار E_r را نشان می‌دهد. نمودار ۱ به عنوان نمونه‌ای از این نمودارها ارائه شده است.

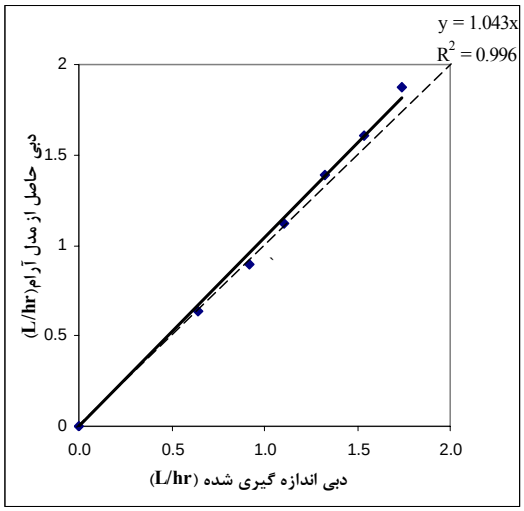
از جدول ۶ مشخص است که هر دو مدل آرام و آشفته مقدار دبی را اندکی بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده‌اند. مقدار E_r برای مدل آرام، حدود ۴/۳ درصد و برای مدل آشفته برابر ۹/۲ درصد می باشد و مدل آرام مقدار دبی را نسبت به مدل آشفته کمتر برآورد نموده است. دلیل آن افزایش تبادل مومنتم در لایه‌های مرزی به دلیل آشفتگی می‌باشد. اما نتیجه مهمی که از این نتایج حاصل می‌گردد این است که خطای دو مدل در برآورد دبی قابل قبول و مناسب می‌باشد و 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 قطره-چکان‌های مورد مطالعه می‌باشند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت نرم افزار FLUENT نرم افزاری بسیار کارا برای شبیه سازی جریان درون مجاری این نوع از قطره‌چکان‌ها می‌باشد. بنابراین این نرم افزار قادر است دبی قطره‌چکان را در دیگر دماها نیز برآورد کند. دبی حاصل از دو مدل آرام و آشفته در دماها و فشارهای مختلف در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۵- مقادیر ضرایب رابطه دبی – فشار

مدل	x	k
آزمایشگاه	۰/۴۷۲	۰/۴۷۰
آرام	۰/۵۱۵	۰/۴۴۳
آشفته	۰/۵۱۰	۰/۴۶۸

جدول ۶- مقادیر Er و λ حاصل از مقایسه میانگین نتایج سه مدل

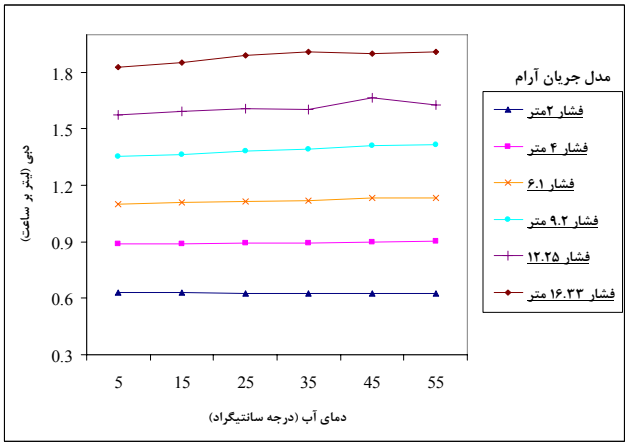
ضرایب رگرسیون	λ	E_r
آزمایشگاه- آرام	۱/۰۴۳	۴/۳
آزمایشگاه- آشفته	۱/۰۹۲	۹/۲



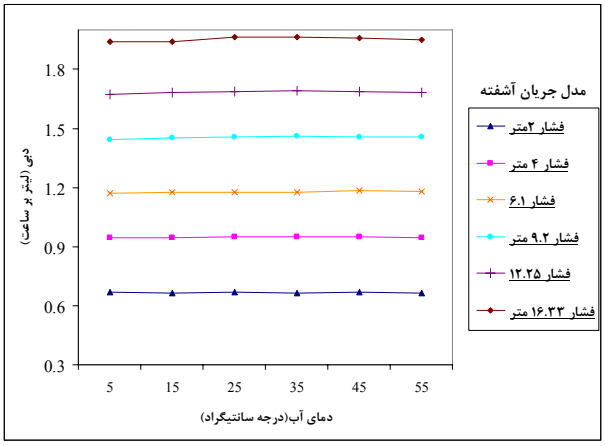
نمودار ۱- مقایسه نتایج حاصل از مدل آرام و آزمایشگاه

جدول ۷- دبی قطره چکان در فشار و دماهای مختلف توسط مدل آرام و آشفته (L/hr)

دما (°c)	مدل آرام						مدل آشفته					
	فشار(mH2o)						فشار(mH2o)					
	۲	۴	۶/۱	۹/۲	۱۲/۲۵	۱۶/۳۳	۲	۴	۶/۱	۹/۲	۱۲/۲۵	۱۶/۳۳
۵	۰/۶۳	۰/۸۹	۱/۱	۱/۳۶	۱/۵۷	۱/۸۳	۰/۶۷	۰/۹۵	۱/۱۷	۱/۴۴	۱/۶۷	۱/۹۴
۱۵	۰/۶۳	۰/۸۹	۱/۱۱	۱/۳۷	۱/۵۹	۱/۸۵	۰/۶۷	۰/۹۵	۱/۱۸	۱/۴۵	۱/۶۸	۱/۹۴
۲۵	۰/۶۳	۰/۸۹	۱/۱۱	۱/۳۸	۱/۶۱	۱/۸۹	۰/۶۷	۰/۹۵	۱/۱۷	۱/۴۶	۱/۶۹	۱/۹۶
۳۵	۰/۶۳	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۳۹	۱/۶۱	۱/۸۹	۰/۶۷	۰/۹۵	۱/۱۸	۱/۴۶	۱/۶۹	۱/۹۶
۴۵	۰/۶۳	۰/۹۰	۱/۱۳	۱/۴۱	۱/۶۶	۱/۹۰	۰/۶۷	۰/۹۵	۱/۱۸	۱/۴۶	۱/۶۹	۱/۹۶
۵۵	۰/۶۳	۰/۹۰	۱/۱۳	۱/۴۲	۱/۶۳	۱/۹۱	۰/۶۶	۰/۹۵	۱/۱۸	۱/۴۵	۱/۶۸	۱/۹۵



نمودار۲- دبی قطره چکان در فشار و دماهای مختلف توسط مدل آرام



نمودار۳- دبی قطره چکان در فشار و دماهای مختلف توسط مدل آشفته

جدول ۸– مقادیر TDR در فشار و دماهای مختلف توسط مدل آرام و آشفته

دما (^{o}c)	مدل آرام						مدل آشفته					
	فشار(mH_2o)						فشار(mH_2o)					
	۲	۴	۶/۱	۹/۲	۱۲/۲۵	۱۶/۳۳	۲	۴	۶/۱	۹/۲	۱۲/۲۵	۱۶/۳۳
۵	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۶	۱/۰۰	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۰
۱۵	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۷	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۹
۲۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۱
۳۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۱	۱/۰۰	۱/۰۱
۴۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۱	۱/۰۱	۱/۰۴	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
۵۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۱	۱/۰۲	۱/۰۲	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰

همانگونه که از جداول ۷ و ۸ و همچنین نمودار های ۲ و ۳ مشخص است با افزایش فشار، دبی قطره‌چکان افزایش می‌یابد اما افزایش دما تأثیر چندانی بر مقدار جریان خروجی از قطره‌چکان ندارد. در فشارهای پایین (۲، ۴، ۶/۱ متر ارتفاع آب) جریان خروجی از قطره چکان هیچ گونه حساسیتی به تغییرات دمایی نشان نمی‌دهد اما در فشار های بالاتر دبی به دست آمده از مدل آرام با افزایش دما تقریباً به صورت خطی افزایش می یابد که این افزایش دبی ناچیز و قابل صرفنظر کردن است به صورتی که حداکثر افزایش دبی در اثر تغییر دما از ۵ به ۵۵ درجه سانتی-گراد، در فشار ۱۶/۳۳ متر ارتفاع آب رخ می دهد که حدود ۴/۵ درصد می‌باشد. در مدل آشفته در فشارهای بالا نیز تغییر دما تأثیری بر جریان خروجی از قطره‌چکان ندارد. بنابراین به طور کلی می توان گفت در مورد قطره‌چکان مورد مطالعه با تغییر دما تغییری در مقدار خروجی از قطره چکان حاصل نمی‌شود با توجه به اینکه نمای دبی قطره‌چکان تقریباً برابر با ۰/۵ می‌باشد قطره‌چکان جزء قطره‌چکان‌های با جریان آشفته می‌باشد و طبق نتایج تحقیقات دکرکس و مالاوال[1] (۱۹۸۵)، پارچوم چوک[2] (۱۹۷۶) کلر و کارملی[3] (۱۹۷۵) دبی این نوع قطره‌چکان‌ها نسبت به تغییرات دمایی حساس نمی‌باشند، نتایج تحقیق حاضر نیز این مطلب را تایید می‌نماید و مشخص می‌گردد که دینامیک سیالات محاسباتی دبی خروجی از قطره چکان‌ها را به خوبی شبیه سازی نموده است. باتوجه به حساس نبودن دبی قطره‌چکان نسبت به تغییرات دمایی، می‌توان از آن در طرح های آبیاری قطره‌ای مناطق گرمسیر کشور استفاده نمود.

در حل مدل نیز مشاهد گردید که در دماهای پایین هر دو مدل در مدت زمان تقریباً یکسانی همگرا شدند اما با افزایش دما مدل آرام بسیار به کندی همگرا گردید و همگرایی آن چندین برابر همگرایی مدل آشفته، زمان بر بود که این نشان می‌دهد مدل آشفته برای شبیه سازی جریان در

1. Decroix and Malaval
2. Parchomchuk
3. Kellerand Karmelli

دماهای بالا مناسب‌تر می باشد که دلیل آن می تواند کاهش لزجت آب و در نتیجه کاهش افت اصطکاکی باشد که تمایل جریان به آشفتگی را بیشتر می کند.

نتیجه گیری

با شبیه سازی جریان داخل مجاری قطره‌چکان مشخص گردید که هر دو مدل آرام و آشفته مقدار دبی را اندکی بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده‌اند. مقدار متوسط خطای پیش بینی برای مدل آرام حدود ۴ درصد و برای مدل آشفته حدود ۹ درصد می باشد و مدل آرام مقدار دبی را نسبت به مدل آشفته کمتر برآورد نموده است. با این دقت پیش بینی می توان گفت دینامیک سیالات محاسباتی و نرم افزار FLUENT ابزاری بسیار کارا برای شبیه سازی و مطالعه هیدرولیک جریان درون مجاری قطره چکان می‌باشد.

با افزایش فشار دبی قطره‌چکان افزایش می‌یابد اما افزایش دما تأثیر چندانی بر مقدار جریان خروجی از قطره‌چکان ندارد. به طور کلی می توان گفت در مورد قطره‌چکان مورد مطالعه با تغییر دما تغییری در مقدار خروجی از قطره چکان حاصل نمی شود بنابراین می‌توان از این قطره-چکان در طرح های آبیاری قطره‌ای مناطق گرمسیر کشور استفاده نمود. در حل مدل نیز مشاهده گردید که در دماهای پایین هر دو مدل در مدت زمان تقریباً یکسانی همگرا شدند اما با افزایش دما مدل آرام بسیار به کندی همگرا گردید و همگرایی آن چندین برابر همگرایی مدل آشفته، زمان بر بود که این نشان دهنده مناسب تر بودن مدل آشفته برای شبیه سازی جریان در دماهای بالا می باشد.

منابع

1. ASAE Standards. 2003. Collapsible emitting hose (drip tape). Specifications and performance testing. 50th ed. S553
2. Clark, G. A. Lamm, F. R. and D. H. Rogers. 2005. Sensitivity of thin-walled drip tape emitter discharge to water temperature. Applied Engineering in Agriculture, 21(5): 855−863.
3. Decroix, M. and A. Malaval. 1985. Laboratory evaluation of trickle irrigation equipment for field system design. In Proc. 3rd International Drip/Trickle Irrigation Congress: 325-330.
4. Harley, J. C. Huang, Y.F. and H. Bau 1995. Gas flow in micro channels. Fluid Mech, 284: 257–274.
5. Hinze, J.O. 1975. Turbulence. McGraw-Hill Publishing Co. New York.
6. International Standards Organization (ISO). 2004. Agricultural irrigation equipment – emitters –specification and test methods [N]. International Standards Organization (ISO), p.9261.
7. Kandilikar, S. D. Joshi, S. and S. Tian. 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.
8. Keller, J. and R. D. Blaisner. 1990. Sprinkle and trickle irrigation. New York. USA: champan and Hall.
9. Keller, J. and D. Karmelli. 1975. Trickle irrigation design. Glendora, Calif.: Rainbird Sprinkler Manufacturing Corporation.
10. Launder, B. E. and D. B. Spalding. 1974. The numerical computation of turbulent flow. Comput. Meth. Appl. Mech, 3. 269.
11. 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
12. Meneveau, C. and J. Katz. 2000. Scale-invariance and turbulence models for large-eddy-simulation. Annu. Rev. Fluid Mech., 32. 1.
13. Parchomchuk, P. 1976. Temperature effects on emitter discharge rates. Transactions of the ASAE., 19(4): 690-692.

14. Peng, G. F. Wu, I. P. and C. J. Phene. 1986. Temperature effects on drip line hydraulics. Transactions of the ASAE., 29(1): 211-215.
15. Pfahler, J. N. Harley, J. and H. Bau. 1990. Liquid and gas transport in small channels. ASME DSC., 19: 149–157.

16. Sinobas, L.R. 1999. Effects of temperature changes on emitter discharge. Irrigation and Drainage Engineering, 64-73.

17. Von Bernuth, R. D. and K. H. Solomon. 1986. Emitter construction, Ch. 2.1. In Trickle Irrigation for Crop Production, eds. F. S. Nakayama and D. A. Bucks. Amsterdam. The Netherlands: Elsevier.

18. 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.

19. Wei, Q. S. Shi, Y. S. Lu, J. Dong W. C. and S. H. Huang. 2006a. Study of hydraulic performance of the eddy channel for drip emitters. Irrigation and Drainage, 55(1): 61-72.

20. Wei, Q. S. Shi, Y. S. Lu, J. Dong W. C. and S. H. Huang. 2006 b. Study on hydraulic performance of drip emitters by computational fluid dynamics. Agricultural Water Management, 84: 130-136.

21. Wu, I. P. Barragan, J. and V. Bralts. 2003. Irrigation systems, drip. In Encyclopedia of Water Science, eds. B. A. Stewart and T. A. Howell. New York: Marcel Dekker, Inc.

22. 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.

23. Zhang, J. Zhoo, W. Wei, Z. h. Tang, Y. and B. Lu. 2007. Numerical and experimental study on hydraulic performance of emitters with arc labyrinth channels. Computers and Electronics in Agriculture, 56: 120-129.

24. Zur, B. and S. Tal. 1981. Emitter discharge sensitivity to pressure and temperature. J. of the Irr. and Drain. Div., ASCE., 107(IR1): 1-9.