عملکرد و خصوصیات هیدرولیکی لوله‌های متخلخل تراوا در فشارهای مختلف

مجید علی‌حوری و امین علیزاده[1*]

چکیده

آبیاری زیرسطحی با لوله‌های متخلخل تراوا از جمله روشهای خردآبیاری می‌باشد که به واسطه استفاده مؤثر از آب و پتانسیل ایده‌آل در توزیع آن با راندمان بالا در سالهای اخیر رایج و معمول گردیده است. بخشی از ارزیابی عملکرد و کارایی این سیستمها را بررسی مشخصه‌های هیدرولیکی و فنی اجزاء آنها به خود اختصاص می‌دهد. بدین منظور در این تحقیق قطعات 6 متری لوله تراوا در 6 فشار مختلف برای تعیین معادله دبی ـ فشار، تغییرات دبی در طول لوله و با زمان، ضریب تغییرات ساخت، یکنواختی پخش، ضریب یکنواختی و تغییرات دبی مورد آزمایش قرار گرفتند. پس از انجام آزمایشها، با استفاده از استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا (ASAE) اقدام به طبقه‌بندی لوله‌های تراوا گردید که بر این اساس کلیه لوله‌های مورد آزمایش از نظر کیفی غیر قابل استفاده بوده و عوامل فشار و زمان اثرات معنی‌داری بر پارامترهای مورد ارزیابی به دنبال داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری زیرسطحی، لوله متخلخل تراوا، ضریب تغییرات ساخت، یکنواختی پخش، ضریب یکنواختی.

مقدمه

محدودیت منابع آب شیرین برای مصارف زراعی در بسیاری از کشورها یک معضل جدی شده است، بطوری که این محدودیت توانسته توسعه این کشورها را تحت الشعاع خود قرار دهد. بر اساس مطالعات انجام شده توسط مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI) در سال ۱۹۹۰ تعداد ۲۶ کشور با جمعیتی حدود ۳۰۰ میلیون نفر با کمبود آب مواجه بوده، در حالی که پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۵۰ تعداد ٦٥ کشور جهان با جمعیتی بالغ بر ۷ میلیارد نفر با کمبود آب مواجه گردند. رشد سریع جمعیت مهمترین عامل کاهش سرانه آب تجدید شونده در ایران بوده، بگونه‌ای که متوسط سرانه آب تجدید شونده در سال ۱۳۸۲ به ۱۹۰۰ مترمکعب تقلیل یافته است. بدین لحاظ بر اساس شاخصهای سازمان ملل و مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب، ایران در وضعیت بحران شدید آبی قرار دارد. در حال حاضر حدود ۹۳ درصد کل منابع آب تجدید شونده کشور به بخش کشاورزی اختصاص یافته که با راندمان معادل ۳۷ درصد به مصرف می‌رسد (احسانی و خالدی،۱۳۸۲ ؛ فرهنگی،۱۳۸۱). لذا افزایش کارایی آبیاری به همراه استفاده حداکثر از آب مصرفی در بخش کشاورزی یکی از مهمترین و مؤثرترین راهکارهای مقابله با بحران آب می‌باشد. در این راستا می‌توان به پذیرش و توسعه روشها و فنون جدید آبیاری نظیر روشهای آبیاری تحت فشار و از جمله استفاده از لوله‌های متخلخل و اعمال شیوه‌های بهتر در مدیریت بهره‌برداری از آب اشاره نمود. فناوری لوله‌های متخلخل که در ایران با نام لوله‌های تراوا شناخته شده‌اند، از دهه ۱۹۷۰ میلادی شروع گردیده که در آن از مواد پلاستیکی از جنس پلی‌اتیلن، اکریلونایترال بوتادین استیرن (ABS) و یا PVC استفاده می‌شود. با توجه به پیچیدگیها و غیریکنواختی‌هایی که در ساخت این لوله‌ها وجود دارد، در این تحقیق خصوصیات فنی و هیدرولیکی لوله‌های موجود در کشور مورد بررسی قرار گرفته و بر اساس استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا (ASAE) ارزیابی کیفی آنها صورت پذیرفت.

گازری (۱۳۷۳) عملکرد و کارایی یک سیستم آبیاری زیرسطحی با لوله‌های تراوا را در یک تاکستان ارزیابی

۱- عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات خرما و میوه‌های گرمسیری کشور و استاد دانشگاه فردوسی مشهد

* وصول: 84/2/7 و تصویب: 84/10/22

نمود. نتایج نشان داد که آبدهی لوله‌ها به شدت بستگی به خصوصیات هیدرولیکی سیستم از جمله فشار آب موجود در لوله‌ها داشته و به استثنای قسمتی از ابتدای لوله، میزان آبدهی در طول لوله یکنواخت بوده است، لیکن دبی خروجی لوله‌ها پس از مدت ۷ ماه نزدیک به ٤٢ درصد کاهش یافت. خرمیان و میرلطیفی (۱۳۷۹) مشخصه‌های هیدرولیکی لوله‌های تراوا ساخت خارج کشور را در محدوده فشار از ۲۰ تا ۱۰۰ کیلو پاسکال بررسی نمودند. در این تحقیق میزان آبدهی سه تیمار لوله نوخشک، لوله نو خیس خورده (به مدت یک هفته در آب) و لوله مستعمل مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصله، میزان آبدهی در طول لوله‌ها از تفاوت قابل ملاحظه‌ای برخوردار بوده و مقدار آن با زمان کاهش یافت. آبدهی لوله نو خشک در یک فشار ثابت همواره کمتر از لوله خیس خورده بوده و لوله مستعمل نیز آبدهی بسیار کمی داشته است. مقدار ضریب تغییرات ساخت (C_v) در لوله نو خشک بین ۰/۱۹ تا ۰/۲۲۸، در لوله نو خیس خورده بین ۰/۰۸۱ تا ۰/۱۸۲ و در لوله مستعمل بیش از ۰/۳ به دست آمده و در مورد سایر پارامترهای یکنواختی توزیع نتایج مشابهی حاصل گردید. لذا بر اساس استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا (ASAE) لوله‌های نو خشک و خیس خورده و لوله مستعمل به لحاظ کیفی به ترتیب غیر قابل قبول، خوب تا متوسط و غیر قابل قبول بوده‌اند. آخوند علی (۱۳۸۲) با نصب عمودی لوله‌های تراوا به طولهای ۳۰، ٤٥ و ٦٠ سانتی‌متر در خاکهای ماسه‌ای مشاهده نمود که الگوهای رطوبتی به وجود آمده در خاک عمدتاً به شکل یک استوانه و دارای رطوبتی در حدود ظرفیت زراعی می‌باشند. در همین سال گلابی و آخوند علی با بررسی الگوهای پیشروی رطوبتی در آبیاری با لوله‌های تراوا دریافتند در فشارهای ٦ و ۸ متر توسعه رطوبتی مناسبی در جهت افقی و عمودی برای خاکهای ماسه‌ای ایجاد می‌شود.

نتایج بررسی Lomax و همکاران (۱۹۸٦) به منظور تعیین مشخصه‌های هیدرولیکی لوله‌های تراوا، با اعمال فشار بیشتر از ۲۰ کیلو پاسکال نشان داد که در صورت استفاده از آب تصفیه نشده دبی نسبتاً یکنواختی ایجاد می‌گردد. همین محققان (۱۹۸۸) میزان آبدهی لوله‌های تراوا در فشار ۳۰ کیلو پاسکال را به صورت معادله‌ای خطی بین دبی و فشار تعیین نموده و مشاهده کردند در صورت عدم استفاده از فیلتر برای تصفیه آب، آبدهی لوله‌ها نسبت به زمان کاهش داشته و پس از حدود ۱۰ روز به یک مقدار ثابت می‌رسد. استفاده از فیلتر، دبی خروجی را بیش از ۱۰ برابر نسبت به حالت نخست افزایش داد. بررسی انجام شده توسط Yoder و Mote (۱۹۹٥) بر روی لوله‌های تولیدی از دو واحد مختلف در محدوده فشار بین ١٤ تا ۱۳۸ کیلو پاسکال حاکی است که کلیه لوله‌های مورد آزمایش به لحاظ کیفی در محدوده قابل قبول واقع شده‌اند، هر چند که تغییرات قابل توجهی بین مقادیر دبی خروجی در طول لوله‌های تراوا وجود داشته است. همچنین Teeluk و Sutton (۱۹۹۸) اثر فشار و تصفیه آب را بر روی میزان دبی خروجی لوله‌های تراوا به طول ٦ متر مورد ارزیابی قرار دادند. این محققان دریافتند صرفنظر از فشار کاربری، میزان جریان در لوله تراوا با زمان کاهش محسوسی را داراست، بویژه اگر از فیلتر برای تصفیه آب استفاده نشود. با نصب فیلتر، کاهش دبی خروجی به تدریج صورت گرفته و پس از سپری شدن مدت زمان بیشتری ثابت می‌گردد. مقدار ضریب تغییرات ساخت (C_v) بطور متوسط برای آب تصفیه نشده ۲٥ تا ٤٨ درصد و در آب تصفیه شده ٢٦ تا ۳۱ درصد بوده که تغییرات آن با زمان برای آب تصفیه شده به شکل خطی ولی در آب تصفیه نشده در ابتدا سریع و سپس به آرامی انجام گرفته است. لذا بر اساس استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا (ASAE) لوله‌های مورد آزمایش از نظر کیفی در محدوده غیر قابل استفاده واقع شده‌اند.

مواد و روشها

به منظور انجام آزمایش یک حلقه ٥٠ متری لوله تراوا موجود در بازار به قطر داخلی ١٦ میلی‌متر(نوع HD 2216) تهیه گردید و کلیه آزمایشها بر روی قطعات به طول ٦ متر با استفاده از آب شرب شهری در دمای ٢٦ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد صورت پذیرفت. ابتدا با برش طولی یک لوله PVC به طول ٦ متر و قطر ٦٠ میلی‌متر، لوله به دو قسمت مساوی تقسیم گردید. سپس یک نیمه آن انتخاب شده و در فواصل ۲٥ سانتی‌متری منافذی به قطر ۱۰ میلی‌متر بر روی آن ایجاد گردید تا در هنگام آزمایش آب تراوش یافته از لوله تراوا بتواند از لوله PVC خارج شود. با استفاده از صفحات پلاستیکی و غیر قابل نفوذ به قطر ٦٠ میلی‌متر، لوله PVC به قسمتهایی با طول ۲٥ سانتی‌متر تفکیک شد، بطوری که منافذ موجود در آن در وسط هر قسمت قرار می‌گرفت. همچنین در تمام صفحات پلاستیکی، روزنه‌ای به قطر ٢٤ میلی‌متر برای عبور لوله تراوا از میان آن تعبیه گردید. سپس به منظور انجام هر آزمایش، یک قطعه لوله تراوا به طول ٦ متر از بین صفحات پلاستیکی نصب شده در داخل لوله PVC که دارای ٢٤ قسمت مساوی و مجزا از یکدیگر بوده، عبور داده شد. پس از انجام این مرحله برای جلوگیری از تراوش آب به خارج لوله PVC، نیمه دیگر لوله PVC آن بر روی نیمه نخست (دارای لوله تراوا) قرار

گرفت و کل مجموعه بر روی پنج پایه فلزی به ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر استقرار یافت. انتهای لوله تراوا به یک فشارسنج و طرف دیگر آن نیز توسط یک لوله رابط از جنس پلی‌اتیلن به قطر ۱۶ میلی‌متر به الکتروپمپ متصل گردید. پس از تراز نمودن لوله PVC مستقر بر روی پایه‌های فلزی، پمپ روشن شده و آزمایش با تنظیم فشار بر روی عدد موردنظر شروع می‌گردید.

این بررسی در فشارهای ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ متر به مدت ۸ ساعت ولی در فشار ۲/۵ متر به دلیل ممانعت از افزایش خطا در تعیین و اندازه‌گیری حجم آب خروجی از قسمتهای مختلف لوله تراوا که بسیار اندک بود، در مدت نیم ساعت انجام گرفت. در هر آزمایش حجم آب تراوشی از قسمتهای مختلف لوله در فواصل زمانی معین اندازه‌گیری شده، بدین صورت که پس از شروع آزمایش در هر نیم ساعت با توجه به دبی خروجی لوله تراوا، آب خروجی ار هر قسمت در مدت ۱ تا ۳ دقیقه توسط ظروفی به گنجایش یک لیتر جمع‌آوری گردید تا به وسیله استوانه‌های مدرج ۲۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌لیتری مقدار آن تعیین شود. همچنین در هر آزمایش با توجه به فشارسنج مستقر در انتهای لوله تراوا، میزان افت فشار کنترل می‌گردید. در نهایت بر اساس اندازه‌گیریهای صورت گرفته، خصوصیات کیفی هر قطعه لوله مورد مطالعه و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

رابطه دبی ـ فشار

مهمترین ویژگی هر قطره‌چکان رابطه بین تغییرات دبی و فشار در آن است. این رابطه در قطره‌چکانها با معادله زیر نشان داده می‌شود (علیزاده،1376):

$$q = K_d . H^x \qquad (1)$$

که q دبی قطره‌چکان (لیتر در ساعت)، K_d ضریب ثابت قطره‌چکان، H فشار کاربری سیستم (متر) و x نمای فشار می‌باشد. مقدار x میزان حساسیت شدت جریان قطره‌چکان به تغییرات فشار و رژیم جریان را نشان می‌دهد و مقدار آن معمولاً در محدوده صفر و یک قرار می‌گیرد. هر چه مقدار x کوچکتر باشد، دبی خروجی کمتر تحت تأثیر فشار قرار گرفته و در نتیجه قطره‌چکان از نظر کاربری ارجحیت دارد. برای تعیین ضرایب K_d و x می‌توان میزان دبی را در دو فشار مختلف اندازه‌گیری کرد و سپس با استفاده از معادله رگرسیون خطی بر روی لگاریتم دبی و فشار این مقادیر را مشخص نمود:

$$x = \frac{\log(q_1/q_2)}{\log(H_1/H_2)} \qquad (2)$$

پس از محاسبه x، با قرار دادن آن در معادله (1) مقدار K_d به دست می‌آید.

ضریب تغییرات ساخت

تفاوتهای اندک در ساخت قطره‌چکانها موجب تغییرات زیادی در مقدار دبی خروجی قطره‌چکان می‌شود که این مسأله بر توزیع یکنواخت آب آبیاری اثر منفی خواهد داشت. نحوه طراحی فنی و هیدرولیکی قطره‌چکان، کیفیت قالبهای به کار گرفته شده، نوع مواد اولیه مصرفی، روش قالب‌ریزی قطعات قطره‌چکانها و میزان دقت اعمال شده در مراحل تولید از مهمترین عوامل مؤثر در کیفیت ساخت یک قطره‌چکان می‌باشند. از آنجایی که معمولاً در یک فشار ثابت، دبی خروجی از قطره‌چکانهای ساخت یک کارخانه با یکدیگر تفاوت دارند، برای بیان این ویژگی از ضریب تغییرات ساخت (C_v) استفاده گردیده که مقدار آن را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود(علیزاده،1376):

$$C_v = \frac{s_d}{q_a} \qquad (3)$$

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(q_i - q_a)^2}{n-1}} \qquad (4)$$

که s_d انحراف از معیار دبی‌های اندازه‌گیری شده، q_a متوسط دبی قطره‌چکانها و q_i دبی اندازه‌گیری شده در قطره‌چکان i از n قطره‌چکان مورد آزمایش بر حسب لیتر در ساعت می‌باشد. در حال حاضر از طبقه‌بندی انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا (ASAE) به عنوان استاندارد استفاده می‌شود (جدول 1).

یکنواختی پخش

در یک سیستم آبیاری قطره‌ای لازم است ضرایب یکنواختی سیستم مشخص گردد تا بتوان بر اساس آن رابطه بین عمق خالص و ناخالص آبیاری را در منطقه ریشه گیاه به دست آورد. از آنجایی که یکنواختی پخش آب یکی از دو جزء مؤثر بر راندمان آبیاری است، لذا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد:

$$EU = (\frac{q`_n}{q_a})100 \qquad (5)$$

که در آنEU یکنواختی پخش (درصد) و $q`_n$ متوسط دبی قطره‌چکان در چارک پایین است.

ضریب یکنواختی

یکنواختی توزیع آب در مزرعه از نظر کمی با ضریب یکنواختی مشخص می‌شود. دامنه تغییرات دبی قطره‌چکان

نیز از ضریب یکنواختی که ابتدا برای یکنواختی پخش آب در آبپاشهای آبیاری بارانی به کار رفته است، به دست می‌آید (ضریب یکنواختی کریستیان سن):

$$CU = (1-\frac{\sum_{i=1}^{n} | q_i - q_a |}{nq_a})100 \qquad (٦)$$

که n تعداد قطره‌چکان (قطعات ۲۵ سانتی متری لوله تراوا) مورد آزمایش می‌باشد (علیزاده، ۱۳۷٦).

تغییرات دبی

یکی دیگر از روشهای بررسی تغییرات دبی در قطره‌چکانها مقایسه حداکثر و حداقل دبی در قطره‌چکان می‌باشد که از آن می‌توان به عنوان معیار انتخاب قطره‌چکان استفاده نمود (علیزاده،۱۳۷٦):

$$q_{var} = (\frac{q_{max} - q_{min}}{q_{max}}) 100 \qquad (٧)$$

q_{max} و q_{min} به ترتیب حداکثر و حداقل دبی در قطره چکانها می‌باشند.

با استفاده از روابط مذکور، نتایج حاصله از آزمایش تحلیل گردیده و ارزیابی عملکرد هیدرولیکی لوله‌ها صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

همچنان که ذکر گردید در این مطالعه میزان آبدهی و کارایی لوله‌های تراوا به طول ٦ متر که هر یک به ۲٤ قسمت مساوی و مجزا تفکیک شده بودند، مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا با توجه به حجم آب خروجی از قطعات مختلف، میزان دبی برای کلیه قطعات تعیین گردید که نحوه تغییرات شدت جریان در طول لوله تراوا برای فشارهای ۵، ۱۰ و ۱۵ متر در شکلهای ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است. دبی در طول لوله‌ها تقریباً به حالت تناوبی تغییر نموده که دامنه نوسانات آن در ابتدای آزمایش نسبت به انتهای آزمایش بیشتر می‌باشد. از آنجا که تغییرات دبی جریان در طول لوله از روند خاصی تبعیت نمی‌کند، لذا پیش‌بینی چگونگی این تغییرات دشوار است و از سوی دیگر نمی‌توان اطمینان داشت که با انجام مجدد آزمایش در یک فشار مشخص، دبی در طول لوله تراوا مشابه تکرار نخست تغییر نماید. بطوری که مشاهده می‌شود در نحوه تغییرات دبی در فشار ۱۵ متر نسبت به سایر فشارها تفاوتی وجود دارد و آن مربوط به افزایش دبی در قطعه شماره ١٦ در انتهای آزمایش است که به دلیل فراختر شدن قطر منافذ موجود در سطح لوله (از اواسط آزمایش به بعد) در این قطعه می‌باشد.

نحوه تغییرات مقادیر متوسط دبی در فشارهای مختلف در طی مدت آزمایش برای فشارهای ۵، ۱۰ و ۱۵ متر در شکل ٤ نشان داده شده است. در فشار ۵ متر دبی لوله تراوا پس از گذشت ۳ ساعت و نیم از شروع آزمایش دارای افت قابل محسوسی می‌باشد، بگونه‌ای که در این مدت میزان دبی از ۹/۱ به ۵/٤ لیتر بر ساعت در هر متر (حدود ٤۱%) تقلیل یافته و در نهایت به ٤/۳ لیتر بر ساعت در متر رسیده است.

در فشار ۱۰ متر دبی لوله تراوا در مدت ۳ ساعت و نیم از ۲۳/۲ به ۱۳/٤ لیتر بر ساعت در متر (حدود ٤۲%) کاهش یافته که با ادامه آزمایش به ۱۰ لیتر بر ساعت در متر منتهی گردیده است. اما برای فشار ۱۵ متر دبی تراوشی پس از گذشت ٤ ساعت از شروع آزمایش تقریباً ٤۱% افت داشته و در نهایت به ۲٤/۳ لیتر بر ساعت در متر رسیده است. بطور کلی نحوه تغییرات دبی خروجی از لوله‌ها نشان می‌دهد که میزان جریان با زمان از کاهش قابل توجهی برخوردار است و از آنجایی که روند این تغییرات مشخص و منظم نیست، برآورد و پیش‌بینی نسبت کاهش دبی در واحد زمان غیر ممکن به نظر می‌رسد. البته با توجه به کاهش قابل محسوس دبی تراوشی از لوله تراوا به مرور زمان ـ صرفنظر از مقدار فشار کاربری ـ کاهش حجم منافذ موجود در سطح لوله به دلیل انبساط مواد به کار رفته در تولید لوله‌های تراوا می‌تواند یکی از علل این پدیده باشد (Teeluck & Sutton,1998). سپس با توجه به مقادیر دبی خروجی لوله‌های تراوا در ابتدا و انتهای آزمایش، معادلات توانی و خطی رگرسیون به صورت $q = K_d . H^x$ و $q = K_d . H + k_1$ تعیین شده که در کلیه معادلات فشار بر حسب متر و دبی لوله تراوا بر حسب لیتر بر ساعت در متر منظور گردیده است (شکلهای ۵ و ٦). بطوری که مشاهده می‌شود مقدار x برای معادله $q = K_d . H^x$ در انتهای آزمایش نسبت به ابتدای آزمایش کمتر بوده، لذا به نظر می‌رسد با گذشت زمان حساسیت لوله‌های تراوا نسبت به تغییرات فشار کاهش داشته است. همچنین با توجه به مقادیر ضریب همبستگی (r)، متغیرهای دبی و فشار در معادله خطی رگرسیون ($q = K_d . H + k_1$) از همبستگی بیشتری برخوردار بوده که مطالعه دیگر محققان نیز مؤید این نکته می‌باشد (Lomax,1988 ; Yoder & Mote,1995).

در ادامه مقادیر ضریب تغییرات ساخت (C_v)، یکنواختی پخش (EU)، ضریب یکنواختی (CU) و تغییرات دبی (q_{var}) در هر فشار محاسبه گردیده و تغییرات آنها با زمان مورد بررسی قرار گرفت. ضریب تغییرات ساخت (C_v) اصولاً با زمان افزایش یافته که حداقل و حداکثر دامنه تغییرات آن به ترتیب در فشار ۵ متر با متوسط ۳۱/٦ درصد

و فشار ۱۵ متر با متوسط ۷۶/۵ درصد می‌باشد (شکل ۷). تحقیقات صورت گرفته نیز حاکی از آن است که صرفنظر از مقدار فشار کاربری، میزان ضریب تغییرات ساخت با زمان بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد (Teeluck & Sutton,1998). میزان یکنواختی پخش آب (EU) به رغم روند افزایش تدریجی آن در اوایل آزمایش برای برخی فشارها، با زمان کاهش یافته است که فشار ۲۰ متر از کمترین دامنه تغییرات با متوسط ۴۹/۵ درصد و فشار ۱۰ متر از بیشترین دامنه تغییرات با متوسط ۴۴/۳ درصد برخوردار می‌باشند (شکل ۸). ضریب یکنواختی (CU) در حالت کلی با زمان کاهش داشته و در نهایت نسبتاً ثابت شده است (شکل ۹). حداقل دامنه تغییرات ضریب یکنواختی در فشار ۲۰ متر با متوسط ۶۴/۹ درصد و حداکثر آن در فشار ۱۵ متر با متوسط ۵۷/۸ درصد مشاهده گردیده است. میزان تغییرات دبی (q_{var}) در مجموع با زمان افزایش یافته که در اواخر مدت آزمایش به مقدار نسبتاً ثابتی رسیده است (شکل ۱۰). فشار ۲۰ متر از کمترین دامنه تغییرات با متوسط ۹۱/۳ درصد و فشار ۱۰ متر از بیشترین دامنه تغییرات با متوسط ۸۰/۷ درصد برخوردار می‌باشد. سپس با توجه به مقادیر مشخصه‌های مذکور، بر اساس استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا (ASAE) هر یک از لوله‌های تراوا به لحاظ کیفی طبقه‌بندی شدند (جدول ۲). میزان ضریب تغییرات ساخت (C_v) در لوله‌های مورد آزمایش از ۳۱/۶ درصد برای فشار ۵ متر تا ۷۶/۵ درصد در فشار ۱۵ متر تغییر نموده، لذا کلیه لوله‌های تراوای مورد آزمایش از نظر کیفی غیر قابل استفاده می‌باشند. مقادیر یکنواختی پخش (EU) و ضریب یکنواختی (CU) به ترتیب در محدوده ۴۴/۳ تا ۶۴/۵ درصد و ۵۷/۵ تا ۷۵/۴ درصد قرار داشته که فشار ۱۰ متر حداقل و فشار ۵ متر حداکثر این مقادیر را به خود اختصاص داده‌اند. مقدار تغییرات دبی (q_{var}) نیز از ۷۰/۷ تا ۹۱/۳ درصد متغیر بوده که فشارهای ۷/۵ و ۲۰ متر به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار را دارا می‌باشند. مقادیر زیاد q_{var} بیانگر وجود اختلاف محسوس بین حداقل و حداکثر دبی خروجی در طول هر لوله تراواست.

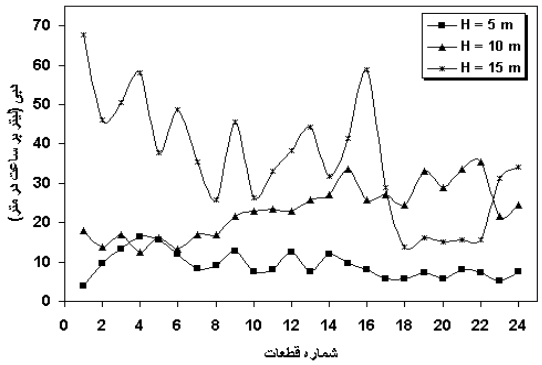
به منظور بررسی اثر فشار کاربری بر هر یک از ضرایب فوق، از تحلیل طرح بلوکهای کامل تصادفی استفاده گردید که عوامل فشار و زمان به ترتیب به منزله تیمار و بلوک در نظر گرفته شدند. این عمل برای فشارهای ۵ تا ۲۰ متر صورت پذیرفت و میانگین مشخصه‌های مورد ارزیابی توسط آزمون دانکن مورد مقایسه قرارگرفتند که نتایج به دست آمده در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

در طی این بررسی ملاحظه گردید که اختلاف بین بلوکها برای یکنواختی پخش (EU) در سطح ۵% و برای ضریب یکنواختی (CU) و تغییرات دبی (q_{var}) در سطح ۱% معنی‌دار شده است. به عبارت دیگر تغییر ضریب یکنواختی پخش با زمان معنی‌دار و تغییرات ضریب یکنواختی و تغییرات دبی با زمان بسیار معنی‌دار بوده است، در حالی که ضریب تغییرات ساخت (C_v) به رغم روند افزایشی آن با زمان بطور معنی‌داری تغییر نکرده است. بطور کلی نتایج حاصل از انجام این مطالعه، از یک طرف حاکی از وجود تغییرات قابل ملاحظه در مواد به کار رفته برای تولید این حلقه ۵۰ متری از لوله تراوای مورد آزمایش است و از سوی دیگر بالا بودن مقادیر ضریب تغییرات ساخت در آن نشانگر کیفیت پایین این فراورده به لحاظ ساخت می‌باشد.

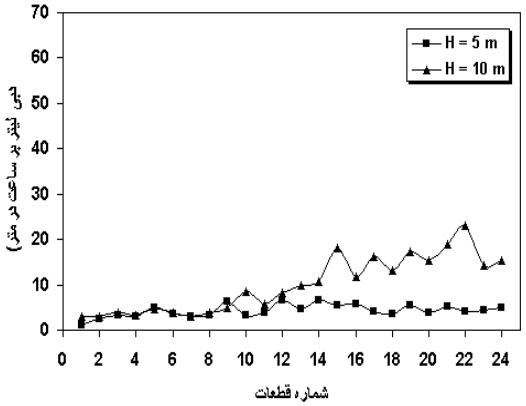
با توجه به نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌شود یک مؤسسه علمی و پژوهشی در ارتباط با مسایل سیستمهای خرد آبیاری تأسیس گردد تا توسعه و تولید تجهیزات مربوط به این گونه سیستمها را تحت نظارت و کنترل خود داشته و کلیه تولیدات کارخانجات سازنده لوازم و تجهیزات سیستمهای آبیاری تحت فشار به منظور رعایت استانداردهای کیفی، توسط این موسسه بطور مستمر ارزیابی گردند. همچنین بررسی کارایی و عملکرد سیستمهای زیرسطحی تراوا در مزارع و باغها می‌تواند به عنوان مطالعات تکمیلی انجام پذیرد.

جدول 1 - طبقه‌بندی کیفی قطره‌چکانهای خطی بر اساس استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا (ASAE EP405.1)

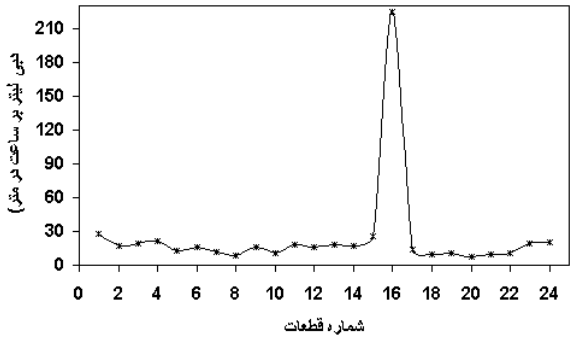
گروه	ضریب تغییرات ساخت
خوب	< 0/1
متوسط	0/1 – 0/2
غیر قابل استفاده	> 0/2



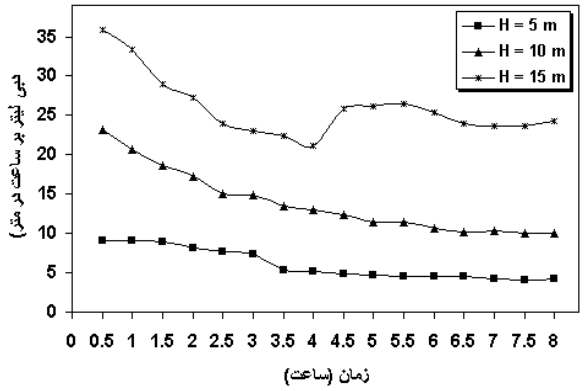
شکل 1 - تغییرات دبی جریان در طول لوله تراوا در ابتدای آزمایش (0/5 ساعت) در فشارهای مختلف



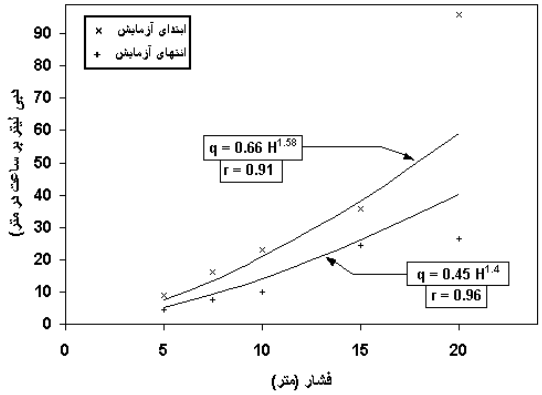
شکل2- تغییرات دبی جریان در طول لوله تراوا در انتهای آزمایش (8 ساعت) در فشارهای 5 و 10 متر



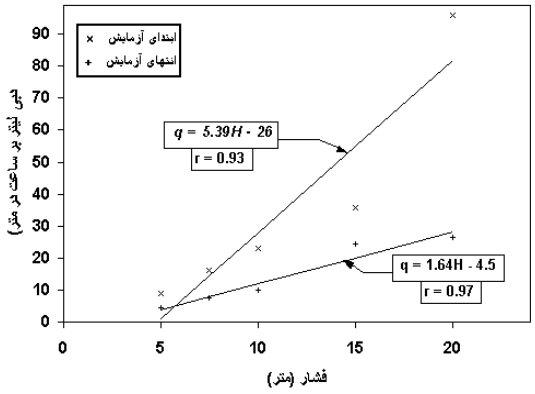
شکل 3 - تغییرات دبی جریان در طول لوله تراوا در انتهای آزمایش (8 ساعت) در فشار 15 متر



شکل 4 - تغییرات دبی لوله تراوا با زمان در فشارهای مختلف



شکل 5 - معادله توانی رگرسیون بین دبی و فشار در ابتدا و انتهای آزمایش

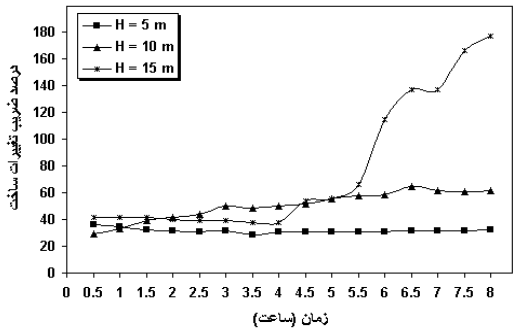


شکل 6 - معادله خطی رگرسیون بین دبی و فشار در ابتدا و انتهای آزمایش

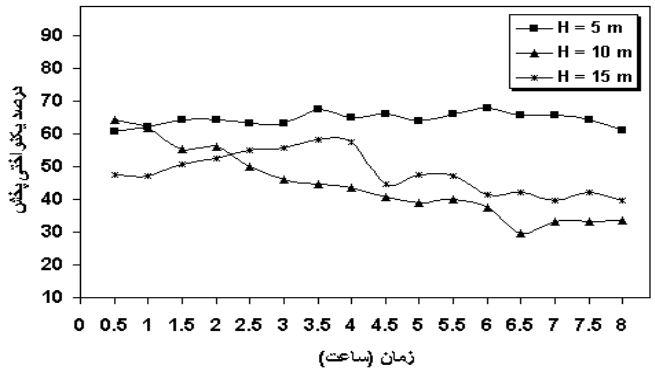
جدول 2 - نتایج ارزیابی کیفی لوله‌های تراوا در فشارهای مختلف

فشار کاربردی (m)	مشخصه(%)				گروه کیفی
	C_v	EU	CU	q_{var}	
5	31/6[a]	64/5[b]	75/4[c]	81/6[b]	غیر قابل استفاده
7/5	34/6[a]	61/3[b]	70[bc]	70/5[a]	غیر قابل استفاده
10	50/3[a]	44/3[a]	57/5[a]	80/7[b]	غیر قابل استفاده
15	76/5[b]	48/1[a]	57/8[a]	86/2[c]	غیر قابل استفاده
20	43/4[a]	49/5[a]	64/9[b]	91/3[d]	غیر قابل استفاده

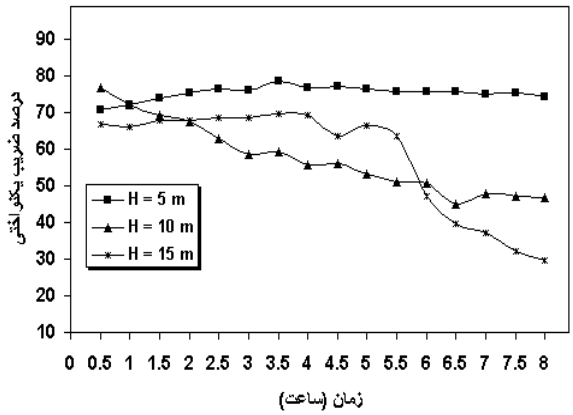
در هر ستون، میانگین‌هایی که با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، در سطح ۱% اختلاف معنی‌داری ندارند.



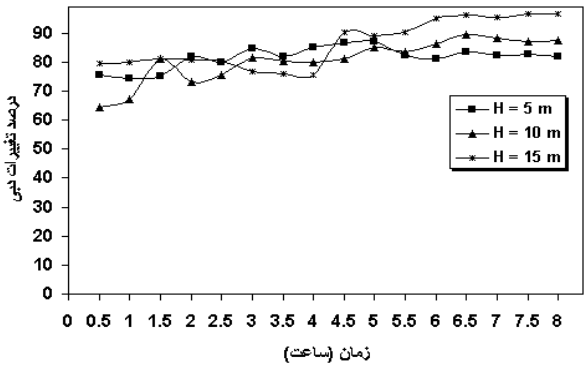
شکل 7 - تغییرات ضریب تغییرات ساخت با زمان در فشارهای مختلف



شکل 8 - تغییرات یکنواختی پخش با زمان در فشارهای مختلف



شکل 9 - تغییرات ضریب یکنواختی با زمان در فشارهای مختلف



شکل10 - رابطه تغییرات دبی با زمان در فشارهای مختلف

فهرست منابع:

۱. آخوندعلی، ع.م. ۱۳۸۲. بررسی آزمایشگاهی امکان کاربرد عمودی لوله‌های آبیاری تراوا در خاکهای ماسه‌ای. سومین همایش منطقه‌ای آبیاری و زهکشی استان خوزستان: ۴۳-۲۱.

۲. احسانی، م. و ه. خالدی. ۱۳۸۲. شناخت و ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی به منظور تأمین امنیت آبی و غذایی کشور. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران: ٦٧٤-٦٥٧.

۳. خرمیان، م. و م. میرلطیفی. ۱۳۷۹. بررسی ویژگیهای هیدرولیکی لوله‌های تراوا. مجله علوم و خاک. جلد ١٤. شماره ۲: ۱۹۷-۱۸۷.

٤. علیزاده، ا. ١٣٧٦. اصول و عملیات آبیاری قطره‌ای. انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا(ع). مشهد:٤٥٠.

٥. فرهنگی، ب. ۱۳۸۱. گزارشی از مراسم روز جهانی غذا. بولتن کمیسیون آب. شماره ٤٦: ٧-٦.

٦. گلابی، م. و ع.م. آخوندعلی. ۱۳۸۲. تعیین الگوهای پیشروی رطوبتی در خاکهای ماسه‌ای به روش آبیاری زیرزمینی تراوا با گزینه عمودی. سومین همایش منطقه‌ای آبیاری و زهکشی استان خوزستان: ٦٣-٤٤.

۷. گازری، ن. ۱۳۷۳. آبیاری زیرزمینی با لوله‌های تراوا. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

8. ASAE subsurface and trickle committee. 1994. Design and installation of systems. ASAE Standard EP405.1: 724-727.
9. Lomax, K.M., J.D. Wood and F.S. Guacelli. 1986. Particles influence hydraulics of porous tubing. Paper American Society of Agricultural Engineers. No. 86-2097.
10. Lomax, K.M., J.D. Wood and F.S. Guacelli. 1988. Emission characteristics of porous tubing. Agricultural Water Management,15(2): 197-204.
11. Teeluck, M. and B. G. Sutton. 1998. Discharge characteristics of a porous pipe microirrigation lateral. Agricultural Water Management, 38(2): 123-134.
12. Yoder, R.E. and C.R. Mote. 1995. Porous pipe discharge uniformity. Microirrigation for a changing world, Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress, 2-6 April, Orlando, Florida: 750-755.