

EXTENDED ABSTRACT

Assessment of the pressure and discharge rate variations along the perforated lateral pipes of novel subsurface irrigation system

M. A. Sadeghzadeh^{1*} and H. Malekinezhad²

1 - Corresponding Author, Associate Prof., Physics Department, Yazd University, Yazd, Iran, (msadeghzadeh@yazd.ac.ir)*

2- Associate Prof., Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 20 February 2021

Revised: 6 November 2021

Accepted: 8 November 2021

Keywords:

Porous pipe, Low-pressure,
Distribution uniformity, Pistachio.

TO CITE THIS ARTICLE :

Sadeghzadeh, M., Malekinezhad, H. (2022). 'Assessment of the pressure and discharge rate variations along the perforated lateral pipes of novel subsurface irrigation system', Irrigation Sciences and Engineering, 45(1), pp. 85-97. doi: 10.22055/jise.2021.36492.1955.

Introduction

Optimizing the use of water resources is inevitable due to water shortages in agricultural areas. Pistachio gardening has been an attractive agricultural activity for several decades in Iran. Given the limited water resources, areas under pistachio cultivation in arid regions are not economical due to low production. There has been a continuous trend towards application of efficient irrigation systems such as pressurized subsurface drip irrigation methods, but their complexity and high initial investment, make them less suitable for small scale and scattered owners. This research describes the field performance of a very low-pressure subsurface irrigation method which has been introduced before (Dastorani et al., 2010). In this subsurface porous pipe irrigation system, water is delivered directly to the pistachio tree's roots via perforated PVC pipes covered by plastic textile sleeves. The feasibility of this system has been demonstrated for irrigating pistachio orchards. They compared the effect of traditional (surface) irrigation and such subsurface irrigation method on crop yield and annual growth traits. Their results showed that subsurface irrigation method had relatively higher performance than the surface method. To accurately design such a system, it is necessary to assess the time variations of irrigation parameters including lateral infiltration q (leakage flow rate per unit length), local water pressure along laterals P_x in terms of input water flow rate I_f , and pipe orifice density n , as it is the subject of this research.

Methodology

In this novel subsurface irrigation method, water is delivered directly to the plant through perforated lateral pipes. The applied input water pressure is very low (less than 0.1 bar). The perforated lateral pipes are covered by woven propylene sleeves and are preferably buried in the sandy bed. In this method, PVC pipes with a diameter of 63 mm are perforated on four sides. The orifices (holes) diameter is 6 mm and their average density is n (10 or 27) orifices per meter of pipe length. This system can be treated as a porous pipe but containing finite macroscopic orifices. These lateral porous pipes are laid down in trenches that are 40 to 50 cm deep with a suitable width and are drilled on both sides of each row of trees at a distance of 70 to 100 cm from the trunks. Water flows from the main network into the laterals and through the orifices, and then passes through the fabric cover (seeps) into the sandy bed or soil and finally into the root zone. In order to evaluate the temporal dependence of local water pressure, line filling time (T_{PF}), the irrigation process of five similar plots was carried out for different input water flow rates. To measure and

compare water pressure at the beginning (P_{5m}), middle (P_{25m}) and at the end of laterals (P_{48m} or P_{50}), transparent and graduated tubes (as manometer) were used. After water flow reached the mentioned points, the local water pressure was measured in consecutive time intervals (see Fig 1).

Results and Discussion

The input water flow rate to subsurface porous pipes (I_f) was in the range of 1.6- 3.75 lit/s. The filling time of the pipeline (T_{PF}) was proportional to its length (L_{TR}) and orifice density (n), but it decreases as the input flow rate enhances. The local water pressure was measured along five pipe lines having 50 to 60 m length and 10 to 27 orifice density. The results indicate that local water pressure increases with irrigation duration but decreases along the pipeline as an exponential decay function in steady state condition ($t=5T_{PF}$). We found that the water head (at the inlet) varies from 33 cm up to 76 cm as input flow rate enhances. Given the power law of pressure and discharge (leakage) rate relationship (Zamani and Fattahi, 2019), it was revealed that the average of discharge rate per unit length (q_{av}) varies from 27 mlit/s.m up to 75 mlit/s.m as the input flow rate increases from 1.6 up to 3.75 lit/s irrespective of the orifice density in the range of 10 to 27. Finally, decreasing the input flow rate down to 1.6 lit/s leads to the desired irrigation distribution uniformity.

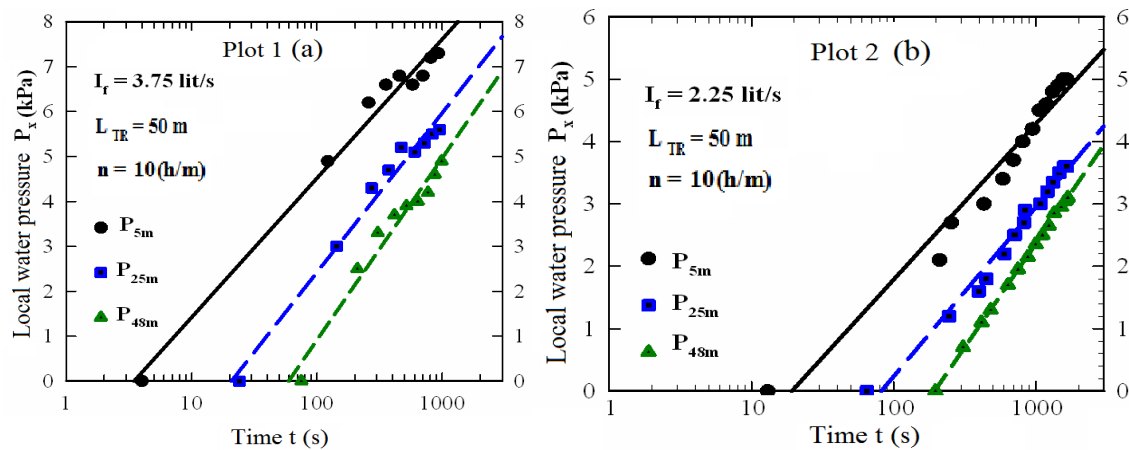


Fig. 1- Time variations of local water pressure along the lateral porous pipes measured in: (a) Plot 1, (b) Plot 2 under study. Triangles, squares and circles symbols are the measured results, while straight lines are linear regression.

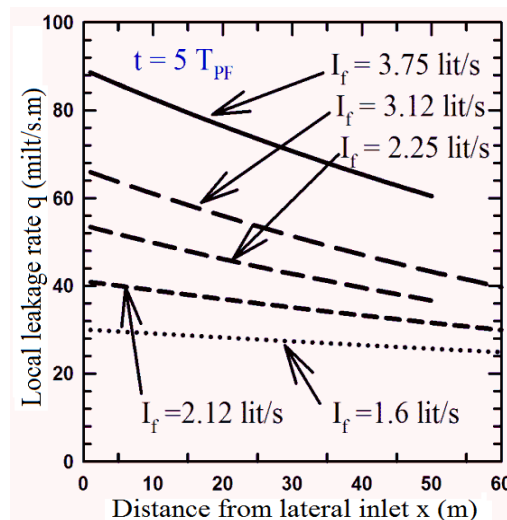


Fig. 2- Variations of local water leakage (discharge) rate q , along the lateral porous pipes x , measured at steady state condition ($t = 5T_{PF}$) in plots under study with different water input flow rates as indicated.

Conclusions

In subsurface irrigation systems, the crop water requirement is distributed in the proper depth and the amount of evaporation is significantly reduced. In perforated pipes of novel subsurface irrigation system, water is delivered directly in the root zone of the plant. The perforated lateral pipes are covered with plastic clothes and are buried on both sides of the row of trees. For the precise designing of such a system, the relevant hydraulic and irrigation parameters should be determined. This field research showed that the pipe filling time increases with orifice density but decreases as the input water flow rate enhances from 1.6 to 3.75lit/s. Furthermore, local water pressure decreases exponentially along the pipe line, but enhances with irrigation duration and input flow rate. The results of the discharge-pressure equation (power law) showed that the discharge rate of water from the laterals increases in the range of 27 to 75 mlit/s.m and is proportional to the input flow rate to the line. However, it does not depend on orifice density in the range of 10 to27. Therefore, in designing this irrigation system for the tree row length of 50 to 60 meters (common length) the use of pipes having lower orifices density (maximum 10 orifices per meter length) with the input flow rate of 1.5 liters per second is recommended.

Acknowledgment

Authors would like to thank R&D division of Noabyaran Boostane Mehr Co. Ltd for technical and financial supports.

References

- 1- Dastorani, M.T., Heshmeti, M. and Sadeghzadeh, M.A., 2010. Evaluation of the efficiency of surface and subsurface irrigation in dry land environments. *Irrigation and Drainage*, 59(2) pp.129-137.
- 2- Zamani, S. and Fattahi, R., 2019. Investigating on the orifices outflow with different diameters and envelops in the subsurface irrigation system. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 7(2) pp.127-141. (In Persian).



ارزیابی تغییرات فشار و دبی تراوش در طول لوله‌های لترال مشبک سامانه نوین آبیاری زیرسطحی

محمد علی صادق زاده^{۱*} و حسین ملکی نژاد^۲

*۱ - نویسنده مسئول، دانشیار، عضو هیات علمی، دانشگاه یزد، دانشکده فیزیک، یزد، ایران msadeghzadeh@yazd.ac.ir

۲- دانشیار، عضو هیات علمی، دانشگاه یزد، دانشکده منابع طبیعی، یزد، ایران.

پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۱۷

بازنگری: ۱۴۰۰/۸/۱۵

دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۹

چکیده

در روش آبیاری زیرسطحی لوله تراوای بومی، آب مورد نیاز درختان از طریق لوله‌های پی‌وی‌سی سوراخ‌دار پوشیده با پارچه پلاستیکی و مدفون در مجاورت ردیف درختان، مستقیماً در اختیار ریشه قرار می‌گیرد. این پژوهش میدانی برای تعیین پارامترهای آبیاری و هیدرولیکی این سامانه، در پایلوت‌های اجرا شده در باغ‌های پسته انجام و تغییرات زمانی فشار آب در طول خط لوله تراوا (لترال) با قطر ۶۳ میلی‌متر در فرایند آبیاری پنج پلات با ردیف‌های ۵۰ تا ۶۰ متری و دبی آبیاری ۱/۶ تا ۳/۷۵ لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری شد. مشخص گردید که زمان پرشدن خط لوله تراوا متناسب با طول ردیف درختان و چگالی سوراخ‌ها (تعداد سوراخ‌ها در واحد طول لوله) افزایش، ولی با افزایش دبی ورودی به خط کاهش می‌یابد. همچنین، فشار موضعی آب در هر نقطه از خط با گذشت زمان افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد که تغییرات فشار موضعی آب در طول خط لوله در شرایط پایا رامی توان بخوبی با تابع نمایی کاهش، برازش کرد (ضریب تعیین رگرسیون R^2 در گستره ۰/۹۹-۰/۹۶) و مشخص شد که، فشار آب در ابتدای خط (هد) متناسب با دبی ورودی به خط، از ۳۳ تا ۷۶ سانتی‌متر آب افزایش می‌یابد. بررسی معادله توانی تراوایی - فشار نشان داد که متوسط تراوایی (دبی تراوش از واحد طول) خط لوله لترال در گستره ۲۷ تا ۷۵ میلی‌لیتر بر ثانیه در متر و متناسب با دبی ورودی افزایش می‌یابد و به چگالی سوراخ‌ها (در گستره ۱۰ تا ۲۷) بستگی ندارد و اینکه با کاهش دبی ورودی، تغییرات نسبی تراوایی نیز کاهش و یکنواختی توزیع آبیاری مطلوب‌تر می‌باشد.

کلید واژه‌ها: لوله تراوا، کم‌فشار، یکنواختی پخش، پسته.

مقدمه

خروجی قطره‌چکان و در مجاورت گیاه به زمین داده می‌شود تا نیاز آبی گیاه تامین شود و لذا از کمترین میزان نفوذ عمقی و روان آب سطحی برخوردار است. اگر قطره‌چکان در سطح خاک قرار داشته باشد آن را آبیاری قطره‌ای سطحی (Drip irrigation) و اگر در عمقی از خاک مدفون باشد آن را آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (Subsurface drip irrigation) گویند. هریک از این دو روش مزایا و معایبی نسبت به دیگری دارند و مشکل گرفتگی قطره‌چکان‌ها که یکنواختی آبیاری را کاهش می‌دهد عیب مشترک آن‌ها است (Karimi et al., 2015; Thompson et al., 2009). در روش سطحی گرفتگی ناشی از رسوب و کلوخه شدن (Clogging) بوده در حالی که در روش زیرسطحی نفوذ ریشه و املاح خاک نیز دخیل می‌باشند (Mohammedian et al., 2016; Farzam Nia and Haghayeghi, 2010; Moghadam, 2010). تصفیه و اصلاح شیمیایی آب روش مؤثری بوده به‌طور مثال تزریق محلول اسیدی و یا استفاده از علف‌کش ترفلان می‌تواند تا حدی راهکار مشکل روش زیرسطحی باشد (Suarez et al., 2006). سامانه آبیاری قطره-ای سطحی در معرض آفتاب و مزاحم عملیات باغبانی و زراعی بوده و نیز استهلاک آن نسبت به روش زیر سطحی بیشتر است. تأثیر آن‌ها بر شوری خاک و کاهش آفات متفاوت است

جاذبه‌های اقتصادی محصول پسته باعث شده سطح زیر کشت باغات پسته کشور در چند ده اخیر مخصوصاً بعد از پیروزی انقلاب اسلامی رشد سریعی داشته و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی موجب شده که میزان آبدهی چاه‌های کشاورزی در بسیاری از دشت‌های کشور کاهش و دور آبیاری در روش‌های سنتی افزایش یابد (Aliakbari and Zand-Parsa, 2017). به تبع بسیاری از باغ‌های احداث شده در رژیم کم آبیاری قرار داشته و دچار تنش‌های خشکی و افت کیفیت و کمیت محصول، غیراقتصادی و نهایتاً خشک شوند. به‌رحال مشکل کم آبی در بخش کشاورزی باعث شده که به‌طور مثال سطح باغ‌های مثمر پسته به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد و این بخش از سرمایه‌های کشاورزان مستهلک شود. لذا استفاده بهینه از منابع آبی موجود به‌عنوان محور اصلی توسعه کشاورزی اجتناب ناپذیر است (Sedaghati et al., 2012). واقعیت این است که راندمان آبیاری سطحی باغات به دلیل تبخیر بالا و اتلاف عمقی، پایین می‌باشد. لذا طراحی و به‌کارگیری سیستم‌های نوین آبیاری میکرو و موضعی تحت فشار در چند ده اخیر اهمیت خاصی داشته است. در آبیاری قطره‌ای، آب با دبی کم و با کنترل (فشار) از طریق

مربوطه مشخص گردد. Zamani و Fattahi (2019) در پژوهشی با بررسی جریان خروجی از روزنه‌ها با قطر و پوشش‌های متفاوت در سیستم آبیاری لوله مشبک زیرسطحی، اثر متقابل هیدرولیک روزنه و محیط نشت پیرامون لوله را مطالعه کردند و لوله مشبک با روزنه ۲/۵ میلیمتری و پوشش ژئوتکستایل در محیط خاک در فشارهای ۰/۲۵ تا ۲ بار را توصیه کردند. در این مقاله ابتدا به معرفی سیستم آبیاری زیرسطحی لوله مشبک پوششدار و کم فشار پرداخته، سپس عملکرد میدانی آن در فرآیند آبیاری پنج پلات تقریباً مشابه از باغات پسته و با دبی آب ورودی به خط متفاوت ارزیابی شد. در ادامه با برآزش نتایج میدانی تغییرات فشار، دبی تراوش در طول لترال‌ها در فاز آبیاری، مشخصه‌های هیدرولیکی سامانه بر اساس معادله توانی تراوایی برحسب فشار تعیین گردید.

مواد و روش‌ها

در روش آبیاری زیرسطحی لوله تراوایی بومی، آب مورد نیاز درختان از طریق لوله‌های مشبک (سوراخ‌دار) پوشیده با پارچه پلاستیکی و ترجیحاً مدفون در بستر شنی، در فشار بسیار کم (کمتر از ۰/۱ بار) مستقیماً در اختیار ریشه درخت قرار می‌گیرد. در این روش، لوله‌های پی‌وی‌سی به قطر ۶۳ میلی‌متر در چهار طرف سوراخ شدند. قطر سوراخ‌ها شش میلی‌متر و چگالی متوسط آن‌ها $n (10 \text{ یا } 27)$ سوراخ در متر طول لوله بود. لوله‌های روزنه‌دار با آستینی از جنس پروپیلین بافته، پوشیده و در ترانشه‌هایی که به عمق ۴۰-۵۰ سانتی‌متر و به عرض مناسب که در دو طرف هر ردیف درخت و به فاصله ۱۰۰-۷۰ سانتی‌متری از تنه درختان حفر شده قرار گرفته و پس از اتصال آن‌ها، ترجیحاً با لایه‌ای از ماسه و یا شن نرم (Sand) پوشیده و سپس ترانشه با خاک برداشته شده پر شد. جریان آب از شبکه اصلی به داخل لوله تراوا (لوله لترال (Lateral) وارد و از سوراخ‌ها به اطراف آن و سپس از پوشش پارچه‌ای عبور کرده (تراوش کرده) وارد بستر شنی و یا خاک شده و نهایتاً منطقه ریشه را مرطوب کرده و به تدریج جذب ریشه می‌شود (Dastorani et al., 2010). در شکل (۱ الف) شمایی از وضعیت قرارگیری لوله تراوا در مجاورت ردیف درختان و در شکل (۱ ب) تصویر نمونه اجرای آن نشان داده شده است. طبق شکل (۲)، لوله‌های تراوایی طرفین ردیف درختان، در انتها به یکدیگر و به لوله تخلیه هوا (Vent) متصل و در ابتدا به لوله ۹۰ میلی‌متر و سپس به شیر (Valve) و نهایتاً به لوله اصلی (Manifold) آبرسان، متصل شده‌اند. پوشش پارچه‌ای مانند فیلتر سوپاپ گونه عمل کرده به نحوی در هنگام آبیاری براحتی آب را از خود عبور داده ولی پس از اتمام آبیاری و قطع جریان، از ورود ذرات خاک و تا حدی آب به لوله جلوگیری می‌کند. همچنین پوشش پارچه‌ای اطراف لوله موجب کاهش عمق خیس‌شدگی و نفوذ عمقی و افزایش عرض خیس‌شدگی می‌گردد (Lanjabi et al., 2010).

(Goldhamer et al., 2002; Taheri et al., 2017). از آنجا که در سامانه آبیاری زیرسطحی آب مورد نیاز گیاهان در عمق مناسبی و در منطقه ریشه توزیع می‌شود میزان تبخیر سطحی به‌طور معناداری کاهش یافته و راهکار مناسب‌تری می‌باشد. روش‌های آبیاری زیرسطحی به لحاظ هیدرولیک و آبدهی متفاوت می‌باشند و در چند دهه اخیر نوآوری‌ها، روش‌ها و پژوهش‌های متعددی در این زمینه انجام شده است که نمونه قطره‌ای زیر سطحی تحت فشار متداول‌ترین بوده و در سطح وسیعی از باغ‌های پسته نیز به‌کار رفته است (Aliakbari and Zand-Parsa, 2017; Sedaghati et al., 2012). به‌طور کلی، از آنجا که سامانه‌های قطره‌ای تحت فشار یکپارچه، نیازمند سیستم‌های پرهزینه فیلتراسیون و پمپاژ آب می‌باشند و از طرفی مدیریت سیستم کنترل مرکزی فشار، اعمال برنامه صحیح آبیاری، بازدید و نگهداری از شبکه توزیع آب در مزرعه، شستشوی فیلترها، و قطره‌چکان‌ها از مشکلات این سامانه‌ها می‌باشند که بهره‌برداران با آن‌ها آشنا نیستند، لذا مناسب خرده مالکین (بخش عمده باغداران کشور که نسبت آب و زمین بین بهره‌برداران مقدار ثابتی نیست) نمی‌باشد. استفاده از لوله‌های تراوایی موجود در بازار (اسفنجی لاستیکی) نیز راهکار مشکل نبوده است (Sohrabi and Gazori, 1997). کاهش آبدهی (با گذشت زمان) و پیچیدگی‌هایی که در طراحی و بهره‌برداری از آن‌ها وجود دارد کاربرد را برای کشاورزان غیر ممکن می‌سازد (Arabfard et al., 2018). از جنبه کاربردی، در شرایط کم آبیاری و خرده مالکیتی، سیستم آبیاری ساده و کم فشاری که با سیستم غرقابی موجود هم‌خوانی داشته و به عبارتی نیازی به پمپاژ و فیلتراسیون آب نباشد، می‌تواند راهکار مناسب باشد. در روش آبیاری زیرسطحی لوله تراوایی کم فشار، آب مورد نیاز درختان از طریق لوله‌های پی‌وی‌سی مشبک (سوراخ‌دار) پوشیده با پارچه پلاستیکی و مدفون در خاک، مستقیماً در اختیار ریشه درخت قرار می‌گیرد. این سیستم شبیه لوله‌های زهکش پوشش‌دار بوده ولی جهت جریان آب در آن معکوس (از شبکه به خاک) می‌باشد. (Dastorani et al., 2010) در یک پژوهش میدانی، یک پلات را به روش نقلی سطحی و پلات دیگر را بروش زیرسطحی لوله تراوایی بومی و در شرایط کم آبیاری با حجم آب یکسان برای دو سال زراعی آبیاری کردند. نتایج نشان داد که شاخص‌های رشد و محصول در پلات آبیاری زیرسطحی مطلوب‌تر بود. این سامانه آبیاری در چند سال اخیر مورد پذیرش باغداران پسته قرار گرفته و هیچ گونه گرفتگی و یا کاهش تراوایی در پایلوت‌های اجرا شده مشاهده نشده است. Ashrafi et al. (2015) سیستم مشابهی را برای آبیاری درختان زیتون با استفاده از پساب و آب معمولی به‌کار برده و دریافته‌اند که سیستم آبیاری نشتی زیرسطحی می‌تواند کارآمدتر از سیستم سطحی برای آبیاری درختان زیتون در کاربرد پساب باشد. برای طراحی دقیق این سامانه لازم است با مطالعه عملکرد میدانی پایلوت‌های اجرا شده و آزمایشی، پارامترهای آبیاری و هیدرولیکی

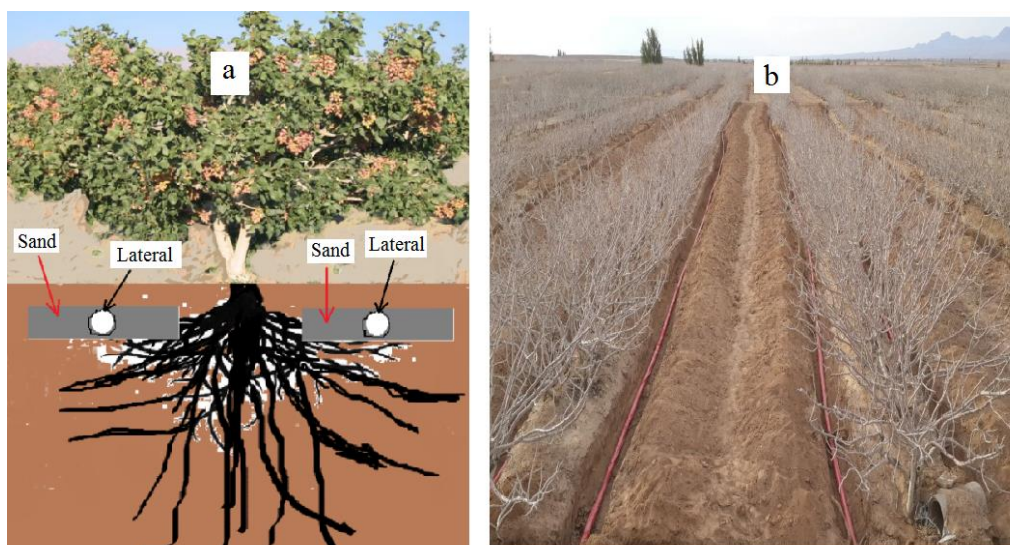


Fig. 1- (a) Cross section of porous lateral pipes and tree's row, (b) the layout of porous pipes in the bilateral trenches of tree's row.

شکل ۱- الف) نمای مقطعی عرضی لوله‌های لترال تراوا و ردیف درختان و ب) وضعیت قرارگیری لوله تراوا در تراشه‌های حفر شده در دو طرف ردیف درختان.

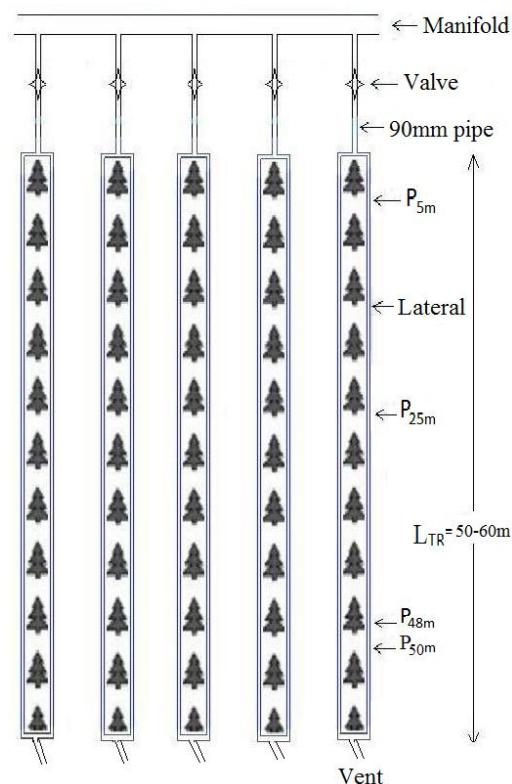


Fig. 2- Schematic of porous pipes network and monometers positions in the subsurface irrigation system under study.

شکل ۲- شمای شبکه لوله‌کشی سیستم آبیاری زیرسطحی لوله تراوا و محل نصب فشارسنج‌ها در طول خط لوله.

حدود ۱۰۰ میلی‌متر (با تبخیر و تعرق ۴۳۵ میلی‌متر در دوره رشد) مورد ارزیابی میدانی قرار گرفت. مشخصات فیزیکی خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر در پایلوت‌های تحت مطالعه در جدول (۱) درج شده است. طول ردیف درختان پسته LTR در پایلوت‌های انتخابی ۵۰ و ۶۰ متر (طول رایج) بود. دبی جریان اصلی آب ورودی به باغ پسته ۴۵ و ۲۵ لیتر بر ثانیه و هدایت الکتریکی آنها تقریباً نه میلی‌موس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. حجم آب توزیع شده در هر ردیف درختان Q_w بر اساس ضریب تشکک کلاس A، ۵۰ درصد و دور آبیاری ۱۵ روزه برابر با ۱۵۰ لیتر بر متر در هر نوبت آبیاری ارزیابی گردید. به عبارتی مقدار آب لازم برای آبیاری هر ردیف ۵۰ متری برابر با ۷۵۰۰ لیتر لحاظ شد. عملاً کمیت آبیاری بر طبق حق‌آبه کشاورز و یا سطح زیر کشت در باغ تعیین می‌شود. بر این اساس مدت زمان کل آبیاری از رابطه: $T_{IR} = Q_w / I_f$ بدست می‌آید. آزمایش اول (پلات یک) با دبی ورودی به هر خط لوله تراوا ۳/۷۵ لیتر بر ثانیه و آزمایش دوم (پلات دو) با دبی ۲/۲۵ لیتر بر ثانیه و آزمایش سوم (پلات سه) با دبی ۳/۱۲ و آزمایش چهارم (پلات ۴) با دبی ۲/۱ لیتر انجام و آزمایش پنجم (پلات ۵) با دبی ۱/۶ لیتر انجام گردید و پارامترهای مربوطه در جدول (۲) درج شده‌اند.

به منظور ارزیابی وابستگی زمانی فشار موضعی آب، زمان پر شدن خط به دبی آب ورودی، فرآیند آبیاری پنج پلات مذکور به شرح زیر انجام شد. برای اندازه‌گیری و مقایسه فشار آب در ابتدا (P_{5m})، وسط (P_{25m}) و انتهای خطوط لوله (P_{48m} یا P_{50m})، از شیلنگ‌های شفاف و مدرج میلی‌متری (بعنوان مانومتر) استفاده و پس از رسیدن جریان آب به نقاط مذکور، فشار آب در بازه‌های زمانی معین و متوالی اندازه‌گیری گردید.

دبی آب ورودی به هر ردیف I_f ، به راحتی با تعداد ردیف‌هایی که همزمان آبیاری می‌شوند (شیرهایی که همزمان باز باشند) به طور پلکانی قابل تنظیم است. به طور مثال اگر دبی منبع جریان آب اصلی ۲۰ لیتر بر ثانیه باشد و چهار شیر همزمان باز باشد دبی ورودی به هر لوله تراوا ۲/۵ لیتر بر ثانیه خواهد بود و برای مورد پنج شیر همزمان، دبی مذکور به دو لیتر بر ثانیه و در شرایطی که شش ردیف همزمان آبیاری شوند این مقدار به ۱/۶۷ لیتر بر ثانیه کاهش می‌یابد و دبی ورودی به هر لترال برای سایر حالت‌ها به این طریق قابل محاسبه است.

از آنجا که در این سامانه بسیار کم فشار، آب عمدتاً توسط نیروی ماتریک خاک جابه‌جا (نشست) می‌شود لذا، فشار موضعی آب (Local water pressure) در طول خط لوله تراوا P_x ، (فشار در نقطه‌ای به فاصله x از ابتدای خط) نه تنها به دبی آب ورودی به آن I_f ، شیب و قطر لوله، بلکه به شرایط محیط اطراف لوله (پوشش، بافت خاک و رطوبت آن) و همچنین به زمان از شروع آبیاری ردیف t نیز بستگی دارد. زمان رسیدن جریان به انتهای هر خط لوله (زمان پرشدگی) T_{PF} کمیت مهم دیگر آبیاری می‌باشد. بنابراین فشار موضعی آب در امتداد هر خط لوله، زمان پرشدگی و همچنین تراوایی q (آهنگ تراوش از واحد طول لوله) (Local leakage rate) سنج‌های مناسبی هستند که در این پژوهش برای ارزیابی عملکرد این سیستم مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش پارامترهای مذکور در پایلوت‌های اجرا شده دو ساله (یک و دو با مختصات $30^{\circ}49'07.1''N$ $55^{\circ}43'47.3''E$ و سه و چهار و پنج با مختصات $30^{\circ}44'40.0''N$ $55^{\circ}53'39.5''E$) واقع در منطقه نوق در شمال رفسنجان با اقلیم گرم و خشک، با بارندگی سالانه

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک در پایلوت‌های تحت مطالعه

Table 1- Soil physical characteristics of the plots under study

Plot number	Soil depth (cm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture
1,2	0-30	67.4	14.4	18.2	Sa L
1,2	30-60	59.9	16.7	23.4	Sa CL
3,4,5	0-30	65.9	12.7	21.4	Sa CL
3,4,5	30-60	63.3	14.3	22.4	Sa CL

جدول ۲- پارامترهای آبیاری در پایلوت‌های تحت مطالعه

Table 2- Irrigation parameters of the plots under study

Plot number	L_{TR} (m)	n (h/m)	Q_w (lit)	I_f (lit/s)	T_{IR} (s)	T_{PF} (s)
1	50	10	7500	3.75	1000	78
2	50	10	7500	2.25	1660	198
3	60	27	7800	3.12	1250	122
4	60	27	7800	2.1	1850	355
5	60	27	7800	1.6	2500	380

نتایج و بحث

نتایج میدانی تغییرات فشار موضعی آب بر حسب زمان، اندازه‌گیری شده در طول خط لوله تراوای زیرسطحی در مدت آبیاری با دبی ۳/۷۵ لیتر بر ثانیه (پلات یک) و دبی ۲/۲۵ لیتر بر ثانیه (پلات دو) به ترتیب در شکل‌های (۳ الف) و (۳ ب) نشان داده شده‌اند. نمادهای دایره برای ابتدا (P_{5m})، نمادهای مربع برای نقطه وسط (P_{25m}) و نمادهای مثلث برای انتهای (P_{48m}) یا (P_{50m}) خط لوله می‌باشند و خطوط مستقیم رگرسیون مرتبه اول مقادیر اندازه‌گیری شده است. به‌طور مشابه نتایج میدانی پلات‌های سه و چهار و پنج در شکل (۴) نشان شده است. نتایج نشان می‌دهد در پلات اول با دبی بیشتر، زمان رسیدن جبهه آب به انتهای خط لوله (T_{PF}) ۵۰ متری حدود ۷۸ ثانیه است در حالی که این زمان برای پلات دوم با دبی کمتر، ۱۹۸ ثانیه می‌رسد. این موضوع در مورد پلات‌های سه و چهار و پنج نیز مصداق دارد. مسلماً کاهش دبی به مقادیر خیلی کم (کمتر از یک لیتر بر ثانیه) موجب افزایش نسبت زمان پرشدگی به زمان کل آبیاری گشته و در نتیجه مقدار آب دریافتی بخش انتهایی خط لوله به‌مراتب کمتر

از بخش ابتدایی بوده و موجب عدم یکنواختی توزیع آب می‌گردد. افزایش زمان پرشدگی در پلات چهار نسبت به پلات دو (با دبی-های ورودی تقریباً یکسان) بخشی به افزایش طول ردیف و بخشی ناشی از چگالی سوراخ‌های لوله تراوا می‌باشد. بررسی دقیق‌تر نتایج P_{48m} در پلات دو و P_{50m} در پلات چهار می‌رساند که زمان رسیدن جبهه آب به نقطه ۵۰ متری خط لوله در پلات چهار (با چگالی ۲۷ سوراخ در متر) حدود ۳۰۰ ثانیه در حالی که این زمان برای پلات دو (با چگالی ۱۰ سوراخ در متر) حدود ۲۰۰ ثانیه می‌باشد، لذا نتیجه می‌گیریم زمان پرشدگی لوله تراوا با چگالی سوراخ بالا (۲۷)، بیش از لوله تراوا با چگالی سوراخ کم (۱۰) است. دلیل این پدیده ناشی از این واقعیت است که در ابتدای فرایند آبیاری که خاک اطراف روزنه‌ها خشک‌تر و در نتیجه مکش رطوبتی خاک بیشتر است و پیازهای رطوبتی روزنه‌ها در حال گسترش هستند (قبل از هم‌پوشانی) میزان نشت از لوله با چگالی سوراخ بالا، بیشتر از لوله کم‌سوراخ بوده و لذا سرعت حرکت جبهه آب در لوله تراوا کمتر بوده و مدت زمان بیشتری لازم است تا جریان به انتهای خط لوله برسد.

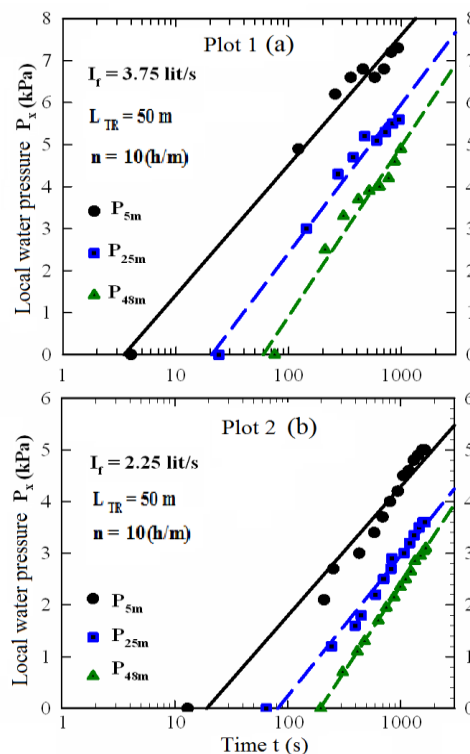


Fig. 3- Time variations of local water pressure along the lateral porous pipes measured in: (a) plot 1, (b) plot 2 under study. Triangles, squares and circles symbols are the measured results, while straight lines are linear regression.

شکل ۳- تغییرات زمانی فشار موضعی آب اندازه‌گیری شده در طول خط لوله لترال: (a) در پلات ۱، (b) در پلات ۲. نمادهای دایره، مربع و مثلث نتایج میدانی و خطوط مستقیم رگرسیون مرتبه اول می‌باشند.

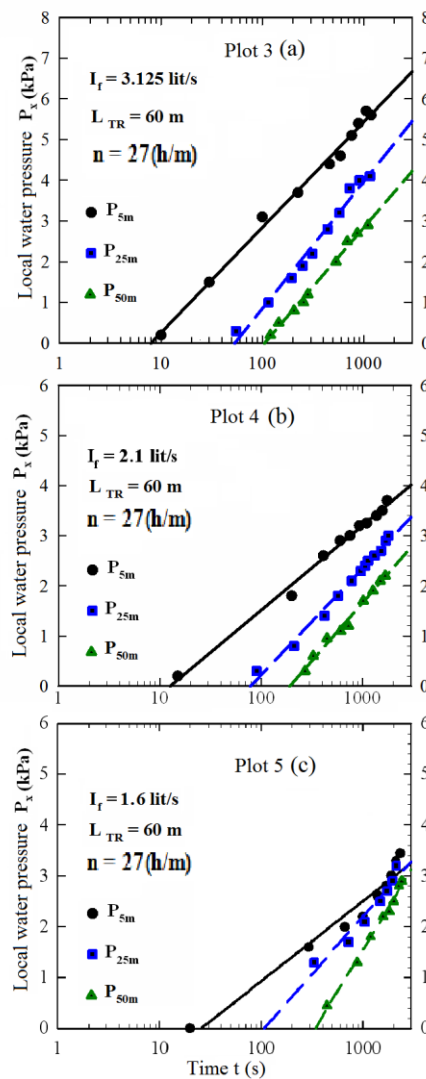


Fig. 4- Time variations of local water pressure along the lateral porous pipes measured in: (a) plot 3, (b) plot 4, plot 5 under study. Triangles, squares and circles symbols are the measured results, while straight lines are linear regression.

شکل ۴- تغییرات زمانی فشار موضعی آب اندازه‌گیری شده در طول خط لوله لترال: (a) در پلات ۳، (b) در پلات ۴ و (c) در پلات ۵. نمادهای دایره، مربع و مثلث نتایج میدانی و خطوط مستقیم رگرسیون مرتبه اول می‌باشند.

نیمه لگاریتمی مذکور نشان می‌دهند که فشار موضعی آب در طول خطوط لوله تراوا کاهش می‌یابد و در ابتدای خط کمتر از 0.08 بار بوده و این مؤید ویژگی "کم فشار بودن" این سامانه نوین آبیاری و عدم نیاز به پمپاژ آب به سامانه می‌باشد. مقایسه این نمودارها نشان می‌دهد که: اولاً فشار موضعی آب در هر نقطه در هنگام آبیاری، در نمودار نیمه لگاریتمی تقریباً به صورت خطی نسبت به زمان افزایش می‌یابد و ثانیاً، اختلاف (افت) فشار آب در ابتدا و انتهای خط لوله تراوا، کم می‌باشد (حدود 20 سانتی‌متر آب). افت فشار در طول خط لوله جریان با روابط هیزن- ویلیامز و دارسی- ویسباخ قابل توجیه است. اگر چه استفاده از لوله با قطر بزرگتر باعث یکنواخت‌تر شدن فشار در خط و در نتیجه یکنواختی آبیاری

از مقایسه نتایج نمودارهای ۳ (a) و ۳ (b) و همچنین ۴ (a) و ۴ (b) و ۴ (c)، درمی‌یابیم که متناسب با افزایش دبی آب ورودی به خط لوله، فشار موضعی آب نیز در سرتاسر لوله افزایش می‌یابد. از مقایسه نمودارهای ۳ (b) و ۴ (b) (با دبی تقریباً یکسان) می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش چگالی سوراخ‌های خط، فشار موضعی آب در نقاط متناظر (هم فاصله از ابتدای خط) کاهش می‌یابد. افزایش فشار می‌تواند موجب نشست و جریان نامطلوب آب به سطح زمین (پدیده آبشنان) شود. با دفن لوله تراوا در عمق بیشتر می‌توان از پدیده آبشنان جلوگیری کرد ولی انتظار می‌رود مشابه با سامانه قطره‌ای زیرسطحی، نصب لوله‌های لترال در عمق بیشتر مطلوب نباشد (Sedaghati et al., 2012).

که در آن a عامل روزنه و b توان پارامتر فشار می‌باشد. چون در هر متر طول لوله لترال n روزنه (سوراخ) وجود دارد لذا دبی تراوش از واحد طول q در لحظه t و در فاصله x از ابتدای خط برابر با (معادله توانی تراوایی- فشار):

$$q(x,t) = n q_1 = n a P^b(x,t) = A P^b(x,t) \quad (3)$$

می‌باشد که در آن $A=na$ ضریب کلی روزنه‌ها متناسب با مساحت و چگالی روزنه‌ها و به پوشش و محیط اطراف لوله نیز بستگی دارد. Zamani و Fattahi (2019) در مطالعه هیدرولیکی لوله-های روزنه‌دار با پوشش ژئوتکستایل در فشار آب $0/25$ تا 2 بار دریافتند که توان پارامتر فشار b در گستره $0/4$ تا $0/6$ تقریباً در حد مقدار نظری آن $0/5$ تغییر می‌کند. در این پژوهش تراوایی موضعی (در نقطه x) در فاز آبیاری در شرایطی که خط به حالت پایا رسیده (پس از گذشت پنج برابر زمان پرشدگی خط $t=5T_{PF}$) و با استفاده از معادله (۱) بصورت زیر:

$$q = q(x,t=5T_{PF}) = n a P_0^b e^{-cxb} \quad (4)$$

در نظر گرفته شد. معادله پیوستگی می‌رساند که دبی ورودی به خط برابر با انتگرال تراوایی موضعی در طول خط لوله می‌باشد:

$$I_f = \int_0^{L_{TR}} q dx = \frac{naP_0^b}{cb} [1 - e^{-c b L_{TR}}] \quad (5)$$

با انتخاب $b=0/5$ (مقدار نظری آن) و با استفاده از این رابطه عامل روزنه a برای هر دبی به‌دست آمده و در جدول (۴) درج شده است. بر این اساس تراوایی موضعی در نقطه‌ای به‌فاصله x از ابتدای خط لوله طبق رابطه (۴) به‌دست آمده (در لحظه $t=5T_{PF}$) و منحنی تغییرات آن در طول خطوط تراوا (لترال‌ها) در شکل (۶) برای پلات‌های تحت مطالعه رسم شده است.

شده ولی موجب افزایش هزینه‌ها نیز می‌گردد و بنابراین قطر 63 میلی‌متر برای ردیف درختان 60 متری پیشنهاد می‌گردد.

افزایش تدریجی فشار آب با گذشت زمان در هنگام آبیاری، به کاهش نفوذپذیری خاک در اثر هم‌پوشانی پیاز رطوبتی اطراف روزنه‌ها و اشباع خاک منطقه لوله و نهایتاً بالا آمدن تراز ناحیه خیس شده مربوط است و این پدیده وجه مشترک همه سامانه‌های زیرسطحی می‌باشد.

برای تعیین پارامترهای هیدرولیکی این سامانه در هنگام آبیاری لازم است ابتدا تغییرات فشار موضعی آب در هر خط لوله در شرایط پایا بررسی شود و برای این منظور زمان پنج برابر زمان پرشدگی خط لوله انتخاب گردید. مقدار فشار در لحظه $t=5T_{PF}$ ، در ابتدا، وسط و انتهای خط با درون‌یابی خطوط رسم شده در شکل‌های (۳) و (۴) برای هر دبی ورودی به‌دست آمد. مشاهده شد که فشار موضعی آب در طول هر خط را می‌توان به‌خوبی (ضریب تعیین رگرسیون R^2 در گستره $0/96 - 0/99$ به‌دست آمد) با تابع نمایی کاهشی (Exponential Decay Function) به-صورت:

$$P = P_x(t=5T_{PF}) = P_0(t=5T_{PF}) e^{-cx} = P_0 e^{-cx} \quad (1)$$

برازش کرد که در آن P_0 مقدار فشار در ابتدای خط (بار هیدرولیکی ابتدا) و ضریب c مشخصه شدت کاهش فشار در طول خط لوله می‌باشد. نتایج حاصل از برازش نتایج میدانی برای پلات-های مختلف در جدول (۳) درج شده است و نمودارهای تغییرات فشار بر حسب فاصله x از ابتدای خط برای دبی‌های مختلف در شکل (۵) رسم شده است. از نتایج جدول (۳) و منحنی‌های شکل (۵) می‌توان دریافت که با افزایش دبی ورودی به خط لوله تراوا I_f ، مقدار فشار آب در ابتدای خط P_0 در گستره $3/33$ تا $6/74$ کیلو پاسکال (33 تا 67 سانتی‌متر آب) و همچنین ضریب افت نمای c که سنجه گرادبان فشار در طول خط می‌باشد، افزایش می‌یابد.

Zamani و Fattahi (2019) معادله توانی نشأت از تک روزنه q_1 برحسب فشار P به‌صورت زیر پیشنهاد کردند:

$$q_1 = a P^b \quad (2)$$

جدول ۳- پارامترهای حاصل از برازش نتایج میدانی فشار موضعی آب در لحظه $t=5T_{PF}$ در پلات‌های تحت مطالعه

Table 3 –Determined parameters via regression the local water pressure at $t=5T_{PF}$ in the plots under study.

Plot number	I_f (lit/s)	$5T_{PF}$ (s)	Q_w (lit)	P_0 (kPa)	c ($10^{-3}/m$)	R^2
5	1.6	1900	7500	3.3308	6.315	0.986
4	2.1	1770	7500	3.902	10.56	0.999
2	2.25	1000	7800	4.6	15.4	0.96
3	3.12	610	7800	5.199	17.2	0.997
1	3.75	390	7800	6.746	15.59	0.99

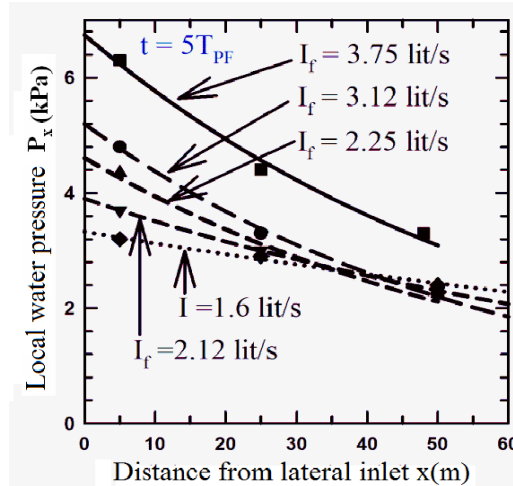


Fig. 5- Variations of local water pressure P_x , along the lateral porous pipes measured at $t = 5T_{PF}$ in plots under study with different water input flow I_f , as indicated. Symbols are the measured results and lines depict the exponential decay function regression analysis.

شکل ۵- تغییرات فشار موضعی آب P_x ، بر حسب فاصله از ابتدای خط لوله تراوا x ، در زمان $t = 5T_{PF}$ از شروع آبیاری برای پلات‌های تحت مطالعه با دبی‌های مشخص شده I_f ، در شکل. نمادها، مقادیر اندازه‌گیری شده و خطوط، رگرسیون تابع نمایی کاهشی نتایج می‌باشد.

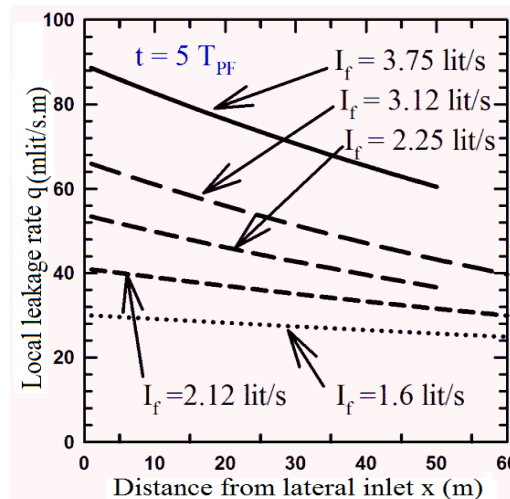


Fig. 6- Variations of local water leakage q , along the lateral porous pipes x , measured at $t = 5T_{PF}$ in plots under study with different water input flow rates I_f , as indicated. Lines depict the power law function regression analysis.

شکل ۶- تغییرات تراوایی موضعی q ، بر حسب فاصله از ابتدای خط لوله لترال x ، در زمان $t = 5T_{PF}$ از شروع آبیاری برای پلات‌های تحت مطالعه با دبی‌های مشخص شده I_f ، در شکل. خطوط رگرسیون توانی می‌باشند.

جدول ۴- پارامترهای تراوایی بدست آمده در لحظه $t=5T_{PF}$ در پلات‌های تحت مطالعه

Table 4 – Determined leakage parameters at $t=5T_{PF}$ in the plots under study

Plot number	n (h/m)	I_f (lit/s)	a	$A= na$	q_{av} (mlit/s.m)	$\Delta q/q_{av}$ (%)	q_{lav} (mlit/s)
5	27	1.6	0.61	16.47	26.7	19.1	1
4	27	2.1	0.77	20.79	35	31	1.27
2	10	2.25	2.51	25.1	45	37	4.5
3	27	3.12	1.08	29.16	52	50	1.93
1	10	3.75	3.44	34.4	75	37.5	7.5

نتیجه گیری

کاهش منابع آب در بخش کشاورزی باعث شده که به کارگیری راه کارهای عملی و سودمند مدیریت آب در مزرعه اجتناب ناپذیر شود. در سامانه های آبیاری زیرسطحی آب مورد نیاز درخت در عمقی مناسب و در منطقه ریشه توزیع می شود و میزان تبخیر سطحی به طور معناداری کاهش می یابد. در روش آبیاری زیرسطحی لوله تراوای بومی، آب مورد نیاز درختان از طریق لوله های پی وی سی مشبک (سوراخ دار) پوشیده با پارچه پلاستیکی و مدفون در دو طرف ردیف درختان، مستقیماً در اختیار ریشه قرار می گیرد. برای ارزیابی عملکرد و طراحی دقیق این سامانه، تغییرات زمانی فشار آب در طول خط لوله تراوا با قطر ۶۳ میلی متر در فرایند آبیاری پنج پلات تقریباً مشابه با ردیف های ۵۰ تا ۶۰ متری و دبی آبیاری ۱/۶ تا ۳/۷۵ لیتر بر ثانیه اندازه گیری شد. مشخص گردید که زمان پر شدن خط لوله تراوا متناسب با طول ردیف درختان و چگالی سوراخ ها (تعداد سوراخ ها در واحد طول لوله) افزایش ولی با افزایش دبی به خط کاهش می یابد. همچنین، فشار موضعی آب در هر نقطه از خط با گذشت زمان افزایش یافته، و نیز دریافتیم که تغییرات فشار موضعی آب در طول هر خط لوله در شرایط پایا را می توان به خوبی با تابع نمایی کاهش، برازش کرد (مقدار R^2 در گستره ۰/۹۹-۰/۹۶). مشخص شد که، فشار آب در ابتدای خط (هد) در گستره ۳۳ تا ۷۶ سانتی متر آب متناسب با دبی ورودی افزایش می یابد. نتایج حاصل از معادله توانی تراوایی- فشار نشان داد که دبی تراوش آب از لوله لترال در گستره ۲۷ تا ۷۵ میلی لیتر بر ثانیه در متر لوله و متناسب با دبی ورودی به خط افزایش یافته و به چگالی سوراخ ها بستگی نداشت. تغییرات نسبی تراوایی که سنجهای از میزان غیریکنواختی توزیع آبیاری در هر خط می باشد، با افزایش دبی ورودی افزایش یافت. نتایج حاکی است که هر چند کاهش دبی ورودی به خط لوله موجب افزایش یکنواختی توزیع آبیاری و تراوایی گشته، در مقابل باعث طولانی شدن زمان پیشروی آب در لوله (افزایش TPF) گردید. بنابراین پیشنهاد می شود که در طراحی این سامانه آبیاری برای طول ردیف درختان ۵۰ تا ۶۰ متری (طول رایج)، از لوله های با چگالی کمتر (حداکثر ۱۰ سوراخ در متر طول) و دبی ورودی ۱/۵ لیتر بر ثانیه استفاده شود.

آخر اینکه "کم فشار بودن"، عدم نیاز به پمپاژ و فیلتراسیون آب و سیستم کنترل مرکزی، همخوانی با نظام های خرده مالکی از مزایای این سامانه آبیاری کم فشار می باشد.

تقدیر و تشکر

مؤلفان از حمایت های مالی و فنی بخش تحقیق و توسعه شرکت نوآبیاران بوستان مهر در انجام این پژوهش تقدیر و تشکر می کنند.

نتایج جدول (۴) می رساند عامل روزنه a در خطوط کم سوراخ ($n=10h/m$) بمراتب بزرگتر از خطوط پرسوراخ ($n=27h/m$) می باشد، که همچنین با افزایش دبی ورودی به خط، نیز افزایش می یابد. بنابراین، صرف نظر از چگالی سوراخ ها، ضریب کلی روزنه ها ($A=na$) متناسب با دبی ورودی افزایش می یابد. این نتیجه به این واقعیت مربوط است که با افزایش دبی ورودی به خط، فشار موضعی آب در سرتاسر لوله نیز افزایش می یابد و به طور طبیعی فاصله پوشش پارچه ای از سوراخ ها نیز بیشتر شده و به عبارتی مساحت مؤثر روزنه ها افزایش می یابد. لازم به ذکر است که پوشش پارچه ای بصورت آستین بوده و اندازه آن کمی بیش از محیط لوله تراوا می باشد.

با بررسی تغییرات تراوایی در پلات های تحت مطالعه طبق شکل (۶) جدول (۴) درمی یابیم که اولاً، متوسط تراوایی (q_{av}) با افزایش دبی ورودی به خط افزایش یافته و به چگالی سوراخ ها (در گستره ۱۰ تا ۲۷ سوراخ بر متر لوله) بستگی ندارد و ثانیاً در هر دبی ورودی، تراوایی موضعی در طول خط لوله، متناسب با فشار موضعی آب کاهش می یابد. تغییرات نسبی تراوایی ($\Delta q/q_{av}$) سنجهای از میزان غیریکنواختی توزیع آبیاری در هر خط می باشد که با افزایش دبی ورودی به آن افزایش می یابد. نتایج حاکی است که هر چند کاهش دبی ورودی به خط لوله موجب افزایش یکنواختی تراوش و در نتیجه یکنواختی توزیع آب می شود، اما زمان پیشروی آب در خط لوله (زمان پرشدگی TPF) را نیز افزایش می دهد. بر این اساس در طراحی این سامانه آبیاری برای ردیف های درخت به طول ۵۰ تا ۶۰ متر (طول رایج)، استفاده از لوله های با چگالی کمتر (حداکثر ۱۰ سوراخ در متر طول) و دبی ورودی ۱/۵ لیتر بر ثانیه پیشنهاد می گردد.

نتایج جدول (۴) مؤید این است که متوسط تراوایی هر روزنه گرد q_{1av} در این سامانه (q_{av}/n) بمراتب کمتر از مقدار نظری جریان آزاد آن طبق:

$$q_{1av} = \frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{2 g h_{av}} \quad (6)$$

می باشد، که در آن D قطر روزنه گرد (۶ میلی متر) و g شتاب جاذبه و h_{av} متوسط ارتفاع آب در خط لوله می باشد. به طور مثال بر طبق این معادله متوسط تراوایی هر روزنه برای دبی ۱/۶ لیتر بر ثانیه (فشار متوسط ۲۸ سانتی متر آب) برابر با ۶۷ میلی لیتر بر ثانیه برآورد می شود، در حالی که مقدار اندازه گیری شده آن یک میلی لیتر بر ثانیه می باشد. این نتیجه حاکی است که تراوایی هر روزنه عمدتاً متأثر از محیط اطراف لوله (پوشش پارچه ای و خاک و رطوبت آن) است که با یافته های Zamani و Fattahi (2019) همخوانی دارد. انتخاب قطر شش میلی متر برای روزنه ها جهت جلوگیری از گرفتگی بوده است.

References

- 1- Aliakbari, A. and Zand-Parsa, Sh., 2017. Effect of different irrigation levels on the growth and yield of Pistachio in Anar city, Kerman province. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 40(3), pp.123-136. (In Persian).
- 2- Arabfard, M., Shahnazari, A. and ZiatabarAhmadi, M., 2018. Effectiveness comparison of pot, porous pipe and gravity drip irrigation methods in the range of gravity pressures. *Journal of Water and Soil*, 31(4), pp.1060-1069. (In Persian).
- 3- Ashrafi, N., Gheysari, M., Maleki, A. and Nikbakht, A., 2015. Effect of irrigation with reclaimed water on fruit characteristics and photosynthesis of olive trees under two irrigation systems. *Journal of Water and Soil*, 29(3), pp.569-577. (In Persian).
- 4- Dastorani, M.T., Heshmeti, M. and Sadeghzadeh, M.A., 2010. Evaluation of the efficiency of surface and subsurface irrigation in dry land environments. *Irrigation and Drainage*, 59(2), pp.129-137.
- 5- Farzam Nia, M. and Haghayeghi Moghadam, S.S., 2010. The clogging of some available emitters in Iran when using saline water. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 32(1), pp.17-25. (In Persian).
- 6- Goldhamer, D., Michailids, T. and Morgan, D., 2002. Buried drip irrigation reduces fungal disease in pistachio orchards, *California Agriculture*, 56 (4), pp.133-138.
- 7- Karimi, O., Hooshmand, A. and BoroomandNasab, S., 2015. The Chemical clogging and its effects on hydraulic performance of different types of emitters with different flow rates using water of Karoun river. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 38(3), pp.73-87. (In Persian).
- 8- Lanjabi, M., Tabatabaei, S.H., Fattahi, R. and Nori, M.R., 2010. Effect of using geotextile envelope on soil wetting pattern in subsurface drip irrigation. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 4(1), pp.109-117. (In Persian).
- 9- Mohammedian, M., Gheysari, M., Fazel, F. and Etemadi, N., 2016. Investigation of root clogging for different inline dripper under subsurface drip irrigation of grass. *Iranian Journal of Water and Soil Research*, 47(3), pp.529-537. (In Persian).
- 10- Sedaghati, N., HosseiniFard, S.J. and Mohammadi Mohammadabadi, A., 2012. Comparing effects of surface and subsurface drip irrigation systems on growth and yield on mature pistachio trees. *Journal of Water and Soil*, 26(3), pp.575-585. (In Persian).
- 11- Sohrabi, T. and Gazori, N., 1997. Subsurface irrigation with porous pipe. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 28(3), pp.145-156. (In Persian).
- 12- Suarez-Rey, E.M., Choi, C.Y., McCloskey, W.B. and Kopec, D.M., 2006. Effects of chemicals on root intrusion into subsurface drip emitters. *Irrigation and Drainage*, 55(5), pp.501-505.
- 13- Taheri, M., Taheri, M., Abbasi, M., Mostafavi, K. and Vahedi, S., 2017. Patterns of soil salinity and sodium under surface and subsurface drip irrigation in olive trees. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 7(2), pp. 127-141. (In Persian).
- 14- Thompson, T., Huang-Cheng, L.P. and Yu-Yi, L., 2009. The potential contribution of subsurface drip irrigation to water-saving agriculture in the western USA. *J. Agricultural Science in China*, 8(7), pp.850-854.
- 15- Zamani, S. and Fattahi, R., 2019. Investigating on the orifices outflow with different diameters and envelopes in the subsurface irrigation system. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 7(2), pp.127-141. (In Persian).