

Σύγκριση της Προώθησης του Μετώπου Διαβροχής και των Απωλειών λόγω Βαθιάς Διήθησης στις Περιπτώσεις Συνεχούς και Διακοπτόμενης Στάγδην Άρδευσης

Σ. Ελμαλόγλου, Ε. Διαμαντόπουλος

*Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών - Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής -
Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Ιερά Οδός 75 - 11855, Αθήνα,
e-mail: elma@aua.gr, stathis.diamantopoulos@gmail.com*

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία συγκρίνονται η προώθηση του μετώπου διαβροχής και οι απώλειες λόγω βαθιάς διήθησης στις περιπτώσεις συνεχούς και διακοπτόμενης στάγδην άρδευσης από επιφανειακούς σταλακτήρες. Τα αριθμητικά αποτελέσματα δείχνουν ότι για το ίδιο έδαφος, την ίδια παροχή και για χρόνο ίσο με το χρόνο άρδευσης η κατακόρυφη συνιστώσα του μετώπου διαβροχής είναι μεγαλύτερη στη περίπτωση της διακοπτόμενης άρδευσης. Παρόλα αυτά, οι διαφορές αυτές πρακτικά εξαλείφονται για μεγαλύτερους χρόνους. Επίσης στο χρόνο που αντιστοιχεί στο εύρος άρδευσης η βαθιά διήθηση στη διακοπτόμενη στάγδην άρδευση είναι μικρότερη από ότι στη συνεχή, η διαφορά δε αυτή είναι εντονότερη όσο πιο ελαφρύ είναι το έδαφος.

Comparison of the Wetting Front Advance Patterns and Water Losses under Deep Percolation in the Case of Continuous and Pulse Drip Irrigation

S. Elmaloglou, E. Diamantopoulos

*Agricultural University of Athens - Department of Natural Resources Management & Agricultural Engineering, Iera Odos 75 - 11855 Athens, Greece,
e-mail: elma@aua.gr, stathis.diamantopoulos@gmail.com*

Abstract

In this study, it is compared the wetting front advance patterns and the water losses under deep percolation in the case of continuous and pulse surface drip irrigation. The numerical results show that for the same soil, the same discharge rate and for time equal to irrigation duration the vertical component of the wetting front was dipper in the case of pulse irrigation. These different was practically eliminated for a longer time. Also, for time equal to irrigation duration deep percolation was inferior using pulse irrigation than using continuous irrigation. This deference was greater in the case of a coarse soil.

1. Εισαγωγή

Η άρδευση με σταγόνες χρησιμοποιείται στις μέρες μας σε μεγάλη κλίμακα και με μεγάλη επιτυχία. Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η διαβροχή ενός μικρού μόνο όγκου εδάφους σε μικρή απόσταση από το αρδευόμενο φυτό. Στη στάγδην άρδευση είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε το αποτέλεσμα του τρόπου εφαρμογής του νερού (συνεχής ή διακοπτόμενη στάγδην άρδευση) στη προώθηση του μετώπου διαβροχής καθώς επίσης και στις απώλειες λόγω βαθιάς διήθησης. Στη βιβλιογραφία υπάρχει ένας αρκετά μεγάλος αριθμός εργασιών οι οποίες ασχολούνται με μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης της συνεχούς στάγδην άρδευσης (Brandt et al., 1971, Warrick, 1974, Ben-Asher et al., 1978, Ababou, 1981, Oron, 1981, Taghavi et al., 1984, Schwartzman and Zur, 1986, Healy and Warrick, 1988, Lafolie et al., 1989, Coelho and Or, 1996, Revol et al., 1997a,b, Simunek et al., 1999, Wu et al., 1999, Vrugt et al., 2001, Elmaloglou and Malamos, 2006).

Σε αντίθεση με τις παραπάνω εργασίες, υπάρχουν λίγες οι οποίες εξετάζουν την διακοπτόμενη άρδευση. Οι Levin et al. (1979) και οι Mostaghimi et al. (1981) μελέτησαν την επίδραση της παροχής και της διακοπτόμενης άρδευσης από επιφανειακή σημειακή πηγή στην δυναμική του εδαφικού νερού. Επίσης, οι Cote et al. (2003) μελέτησαν την επίδραση που έχει η διακοπτόμενη άρδευση στο μέτωπο διαβροχής στην περίπτωση άρδευσης από υπόγεια σημειακή πηγή. Όλες οι παραπάνω εργασίες οι οποίες ασχολούνται με τη διακοπτόμενη άρδευση δεν λαμβάνουν υπόψη την εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια του εδάφους, καθώς επίσης και τη μύζηση του εδαφικού νερού από τις ρίζες του αρδευόμενου φυτού.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επίδραση της διακοπτόμενης άρδευσης στη προώθηση του μετώπου διαβροχής καθώς επίσης και στις απώλειες του νερού κάτω από το ριζόστρωμα λόγω βαθιάς διήθησης. Το φυσικό φαινόμενο προσομοιώνεται με ένα μαθηματικό μοντέλο αξονικής συμμετρίας. Η μερική διαφορική εξίσωση που το περιγράφει επιλύεται αριθμητικά με τη πεπλεγμένη μέθοδο εναλλασσομένων διευθύνσεων (Peaceman and Rachford, 1955).

2. Υλικά και μέθοδοι

Η παρακάτω ανάλυση στηρίζεται σε αριθμητικά αποτελέσματα από ένα μαθηματικό μοντέλο στάγδην άρδευσης από επιφανειακούς σταλακτήρες το οποίο λαμβάνει υπόψη την εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια του εδάφους και τη μύζηση του εδαφικού νερού από τις ρίζες. Οι υποθέσεις που λαμβάνονται υπόψη είναι αυτές του ομογενούς εδάφους και της απουσίας του φαινομένου της υστέρησης.

2.1. Υδροδυναμικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη εδαφών

Η εφαρμογή του μοντέλου γίνεται σε δύο εδάφη, ένα αμμώδες sable DIERI (Ababou, 1981) και ένα ιλυοπηλώδες silt loam από την βάση δεδομένων Rosseta (Schaap and Leij, 1998)

Η αναλυτική έκφραση για τη σχέση $\Theta(H)$ και για τα δύο εδάφη είναι:

$$\Theta(H) = \Theta_r + \frac{\Theta_s - \Theta_r}{\left(1 + (-a \cdot H)^n\right)^m}, \quad m = 1 - \frac{1}{n} \quad (1)$$

Οι αναλυτικές εκφράσεις για την σχέση $K(H)$ είναι:

$K(H) = K_s \cdot \exp(a_0 (H - H_c))$ για την άμμο, και

$$K(Se) = K_s \cdot Se^{0.5} \cdot \left(1 - \left(1 - Se^{\frac{n}{n-1}}\right)\right), \quad Se = \frac{\theta(H) - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad \text{για το ιλυοπηλώδες έδα-$$

φος αντίστοιχα.

Οι αντίστοιχες τιμές των παραμέτρων που περιέχονται στις αναλυτικές εκφράσεις των σχέσεων $\Theta(H)$ και $K(H)$ για το έδαφος sable DIERI συνοψίζονται στον Πίνακα 1, ενώ οι τιμές των παραμέτρων για τις ίδιες σχέσεις (Van Genuchten, 1980) για το έδαφος silt loam συνοψίζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 1. Τιμές των παραμέτρων που υπεισέρχονται στις σχέσεις $\Theta(H)$ και $K(H)$ για το έδαφος Sable DIERI

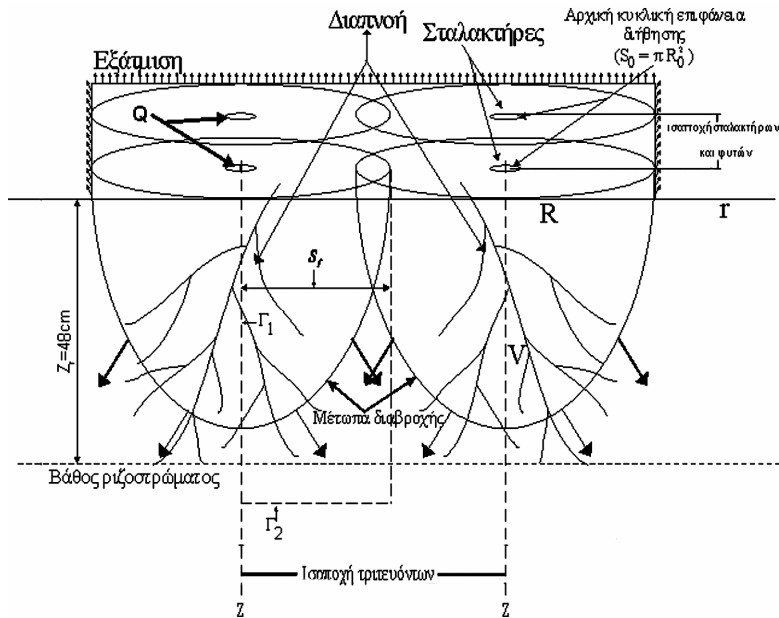
Soil	α_0	H_c	α	n	Θ_s	Θ_r	K_s
	(1/cm)	(cm)	(1/cm)		(cm ³ /cm ³)	(cm ³ /cm ³)	(cm/h)
sable DIERI	0.11238	-23.4	0.0216	3.777	0.230	0.0179	14.00

Πίνακας 2. Τιμές των παραμέτρων που υπεισέρχονται στις σχέσεις $\Theta(H)$ και $K(H)$ για το έδαφος silt loam

Soil	α	n	Θ_s	Θ_r	K_s
	(1/cm)		(cm ³ /cm ³)	(cm ³ /cm ³)	(cm/h)
silt loam	0.0066	1.6596	0.489	0.05	1.819

2.2. Το φυσικό μοντέλο

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται το φυσικό πρόβλημα σε τρεις διαστάσεις. Στην επιφάνεια του εδάφους εφαρμόζεται παροχή από σημειακή πηγή στάγδην άρδευσης, ακτίνας R_0 . Η αξονική συμμετρία μας επιτρέπει να εξετάσουμε το φυσικό πρόβλημα πάνω σε ένα από τα άπειρα κατακόρυφα επίπεδα που διέρχονται από το κέντρο της κυκλικής λεκάνης και που ορίζονται από τους άξονες r και z .



Σχήμα 1. Το φυσικό ομοίωμα

2.3. Το μαθηματικό μοντέλο

Το μαθηματικό μοντέλο περιγράφεται λεπτομερώς στις εργασίες (Elmaloglou and Malamos, 2006, Ελμαλόγλου και Διαμαντόπουλος, 2006).

Η παροχή του σταλακτήρα είναι Q κατά το χρονικό διάστημα άρδευσης και $Q=0$ για το διάστημα μη άρδευσης.

Το βάθος του ριζοστρώματος είναι ίσο με 48 cm. Η απόσταση μεταξύ των τριευδόντων αγωγών και μεταξύ των σταλακτήρων είναι 60cm. Οι τιμές της αρχικής υγρασίας Θ_i είναι $0.0892 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ για το έδαφος sable DIERI και $0.1908 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ για το silt loam αντίστοιχα. Οι παραπάνω τιμές επιλέγονται έτσι ώστε για χρόνο ίσο με το μηδέν, και τα δύο εδάφη να έχουν την ίδια τιμή ενεργού κορεσμού (effective saturation) S_e (33,64%).

3. Αποτελέσματα

Στη παρούσα εργασία προσομοιώνεται η τοπική διήθηση και ανακατανομή του εδαφικού νερού για δύο παροχές του σταλακτήρα ($Q=2$ και 4 l/h), για δόση άρδευσης ίση με 30 mm και για τα δύο εδάφη. Για την περίπτωση της διακοπτόμενης άρδευσης, το χρονικό διάστημα άρδευσης/παύσης είναι 1 ώρα.

Στα Σχήματα 2(α), 2(γ), 3(α), 3(γ) παρουσιάζεται το μέτωπο διαβροχής στη περίπτωση συνεχούς στάγδην άρδευσης σε διαφορετικούς χρόνους για τα δύο εδάφη και για τις δύο παροχές. Στα Σχήματα 2(β), 2(δ), 3(β), 3(δ) παρουσιάζεται το μέτωπο διαβροχής στη περίπτωση διακοπτόμενης στάγδην άρδευσης σε διαφορετικούς χρόνους για τα ίδια εδάφη και για τις δύο παροχές. Η διάρκεια της άρδευσης t_i μεταβάλλεται ανάλογα με τη παροχή (Πίνακας 3).

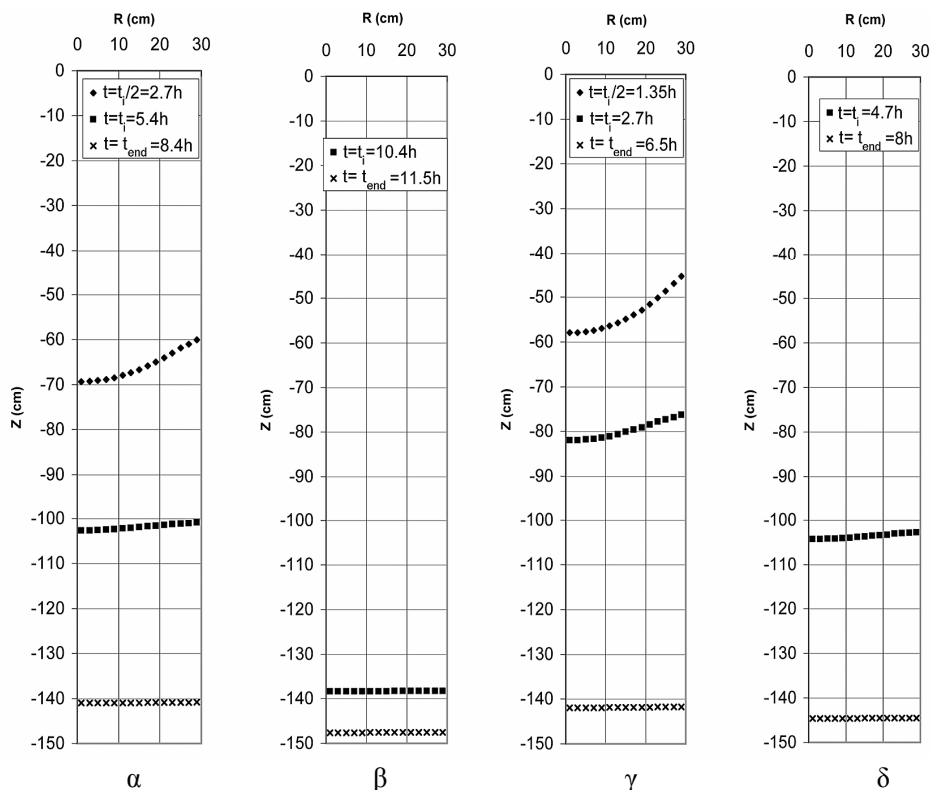
Πίνακας 3. Συνδυασμοί παροχής και διάρκεια άρδευσης

Παροχή σταλακτήρα (l/h)	Διάρκεια άρδευσης (h)		Δόση άρδευσης (mm)
	Συνεχής	Διακοπτόμενη	
2	5.4	10.4	30
4	2.7	4.7	30

Ο συνολικός χρόνος προσομοίωσης t_{end} ορίζεται ως ο χρόνος που χρειάζεται για να επανέλθει η μέση υγρασία στο ριζόστρωμα (από $z=0$ έως 48 cm) στην αρχική τιμή της.

Από τα Σχήματα 2 και 3, για την ίδια παροχή και για χρόνο ίσο με t_i , φαίνεται ότι το νερό κινείται πιο γρήγορα προς τα κάτω για το πιο ελαφρύ έδαφος και στις δύο περιπτώσεις.

Από τα ίδια σχήματα και για χρόνο ίσο με t_i φαίνεται ότι η κατακόρυφη συνιστώσα του μετώπου διαβροχής είναι μεγαλύτερη για την περίπτωση της μικρής παροχής από ότι της μεγαλύτερης. Το συμπέρασμα αυτό είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των εργασιών των Bressler et al. (1971) και των Elmaloglou and Diamantopoulos (2007). Από τα Σχήματα 2 και 3 παρατηρείται ότι για χρόνο ίσο με το χρόνο άρδευσης, η διακοπτόμενη άρδευση έχει σαν αποτέλεσμα βαθύτερη κίνηση της κατακόρυφης συνιστώσας του μετώπου διαβροχής. Παρόλα αυτά για χρόνο μεγαλύτερο από το χρόνο άρδευσης οι διαφορές μεταξύ της συνεχούς και της στάγδην άρδευσης εξαφανίζονται.

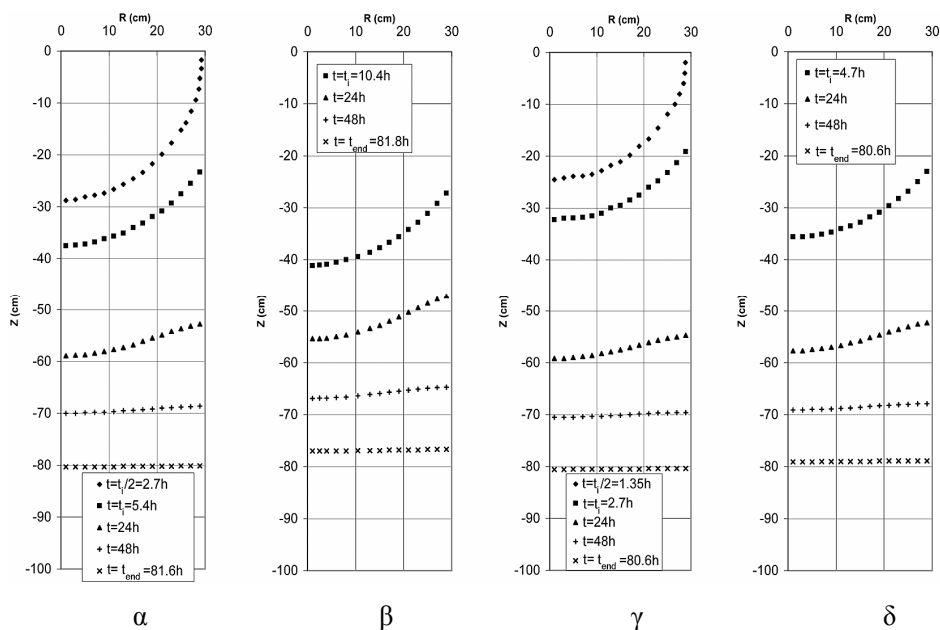


Σχήμα 2. Μέτωπο διαβροχής για διάφορους χρόνους για το έδαφος Sable DIERI ($Q=2l/h$): (α) συνεχής άρδευση, (β) διακοπτόμενη άρδευση ($Q=4l/h$): (γ) συνεχής άρδευση, (δ) διακοπτόμενη άρδευση

Στον Πίνακα 4 δίνεται η βαθιά διήθηση στο χρόνο t_{end} κάτω από το ριζόστρωμα (48 cm) σαν ποσοστό του εφαρμοζόμενου ύψους νερού, για τα δύο εδάφη και για τις δύο παροχές. Από τον ίδιο πίνακα φαίνεται ότι η διακοπτόμενη άρδευση μειώνει τις απώλειες από βαθιά διήθηση. Η μείωση αυτή κυμαίνεται από 6-0.8 %.

Πίνακας 4. Ύψος βαθιάς διήθησης για την περίπτωση συνεχούς και διακοπτόμενης άρδευσης ως ποσοστό του εφαρμοζόμενου ύψους νερού.

Παροχή σταλακτήρα (l/h)	Συνεχής άρδευση		Διακοπτόμενη άρδευση	
	sable DIERI	silt loam	sable DIERI	silt loam
2	83.7	8.8	76.7	7.4
4	89.0	8.9	86.6	8.1



Σχήμα 3. Μέτωπο διαβροχής για διάφορους χρόνους για το έδαφος silt loam ($Q=2l/h$): (α) συνεχής άρδευση, (β) διακοπτόμενη άρδευση ($Q=4l/h$): (γ) συνεχής άρδευση, (δ) διακοπτόμενη άρδευση

Παρατηρώντας τον Πίνακα 4 και τον αντίστοιχο Πίνακα 3 του άρθρου Elmaloglou and Diamantopoulos, 2007 μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η μείωση των απωλειών λόγω βαθιάς διήθησης στην περίπτωση της διακοπτόμενης άρδευσης είναι εντονότερη όσο πιο ελαφρύ είναι το έδαφος.

4. Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας δείχνουν ότι υπάρχει δυνατότητα για βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων στάγδην άρδευσης με επιφανειακούς σταλακτήρες. Αυτό επιτυγχάνεται με βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των συστημάτων αυτών καθώς επίσης με βελτιστοποίηση του τρόπου λειτουργίας τους. Τα αριθμητικά αποτελέσματα δείχνουν ότι οι υδραυλικές ιδιότητες επηρεάζουν έντονα την κατακόρυφη κίνηση του μετώπου διαβροχής, ότι η μείωση της παροχής διατηρώντας σταθερό το ύψος του εφαρμοζόμενου νερού έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της κατακόρυφης συνιστώσας του μετώπου διαβροχής, ότι για τα δύο εδάφη, τις δύο παροχές και

για χρόνο ίσο με τον χρόνο άρδευσης, η κατακόρυφη συνιστώσα του μετώπου διαβροχής είναι μεγαλύτερη στη περίπτωση της διακοπτόμενης άρδευσης. Παρόλα αυτά, οι τελευταίες διαφορές πρακτικά εξαφανίζονται για χρόνους μεγαλύτερους από το χρόνο άρδευσης.

Βιβλιογραφία

1. Ababou, R., 1981. *Modelisation des transferts hydriques dans un sol en infiltration localisée*. Thèse de Docteur Ingenieur, Université de Grenoble.
2. Ben-Asher, J., Lomen, D.O. and Warrick, A.W., 1978. *Linear and nonlinear models of infiltration from a point source*. Soil Sci. Soc. Am. J., 42: 3-6.
3. Brandt, A., Bresler, E., Diner, N., Ben-Asher, J., Heller, J. and Goldberg, D., 1971. *Infiltration from a trickle source, 1. Mathematical models*. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 35 (5): 675-682.
4. Bresler, E., Heller, J., Diner, N., Ben-Asher, J., Brandt, A. and Goldberg, D., 1971. *Infiltration from a trickle source, 2. Experimental data and theoretical predictions*. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 35 (5): 683-689.
5. Coelho, F.E. and Or, D., 1996. *A parametric model for two-dimensional water uptake intensity by corn roots under drip irrigation*. Soil Sci. Soc. Am. J., 60: 1039-1049.
6. Cote, C.M., Bristow, K.L., Charlesworth, P.B., Cook, F.J. and Thorburn, P.J., 2003. *Analysis of soil wetting and solute transport in subsurface trickle irrigation*. Irrig. Sci., 22: 143-156.
7. Elmaloglou, S. and Malamos, N., 2006. *A methodology for determining the surface and vertical components of the wetting front under a surface point source, with root water-uptake and evaporation*. Irrig. and Drain., 55(1): 99-111.
8. Ελμαλόγλου, Σ. και Διαμαντόπουλος, Ε., 2006. *Η επίδραση της παροχής και της δόσης άρδευσης στην κατανομή της εδαφικής υγρασίας κάτω από επιφανειακή πηγή στάγδην άρδευσης*. Υδροτεχνικά, 16: 33-48.
9. Elmaloglou, S. and Diamantopoulos, E., 2007. *Wetting front advance patterns and water losses by deep percolation under the root zone as influenced by pulsed drip irrigation*. Agric. Water Manage., 90: 160-163.
10. Healy, R.W. and Warrick, A.W., 1988. *A generalized solution to infiltration from a surface point-source*. Soil Sci. Soc. Am. J., 52 (5): 1245-1251.
11. Lafolie, F., Guennelon, R. and Van Genuchten, M.Th., 1989. *Analysis of water flow under trickle irrigation: 1. Theory and numerical solution*. Soil Sci. Soc. Am. J., 53 (5): 1310-1318.
12. Levin, I., Van Rooyen, P.C. and Van Rooyen, F.C., 1979. *The effect of discharge rate and intermittent water application by point-source irrigation on the soil moisture distribution pattern*. Soil Sci. Soc. Am. J., 43: 8-16.

13. Mostaghimi, S., Mitchell, J.K. and Lembke, W.D., 1981. *Effect of pulsed trickling on moisture distribution patterns in heavy soils*. Paper No. 81-2553, ASAE, St. Joseph, MI.
14. Oron, G., 1981. *Simulation of water flow in the soil under sub-surface trickle irrigation with water uptake by roots*. Agric. Water Manage., 3: 179-193.
15. Peaceman, D.W. and Rachford, H.M., 1955. *The numerical solution of parabolic and elliptic differential equations*. J. Soc. Ind. Appl. Math., 3: 24-41.
16. Revol, P., Vachaud, G., Vauclin, M. and Clothier, B.E., 1997. *Infiltration from a surface point source and drip irrigation, 1. The midpoint soil water pressure*. Water Resour. Res., 33: 1861-1867.
17. Revol, P., Clothier, B.E., Mailhol, J.-C., Vachaud, G. and Vauclin, M., 1997. *Infiltration from a surface point source and drip irrigation, 2. An approximate time-dependent solution for wet-front position*. Water Resour. Res., 33: 1869-1874.
18. Schaap, M.G. and Leij, L.J., 1998. *Database-related accuracy and uncertainty of pedotransfer functions*. Soil Sci., 163: 765-779.
19. Schwartzman, M. and Zur, B., 1986. *Emitter spacing and geometry of wetted soil volume*. J. Irrig. and Drain. Engrg., 112(3): 242-253.
20. Šimůnek, J., Šejna, M. and Van Genuchten, M.Th., 1999. *The HYDRUS-2D software package for simulating two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variable saturated media*. Version 2.0, IGWMC-TPS-53, International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, CO
21. Taghavi, S.A., Marino, M.A. and Rolston, D.E., 1984. *Infiltration from trickle-irrigation source*. J. Irrig. and Drain. Engrg., 110 (4): 331-341.
22. Van Genuchten, M.Th., 1980. *A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*. Soil Sci. Soc. Am. J., 44: 892-898.
23. Vrugt, J.A., Hopmans, J. W. and Šimůnek, J., 2001. *Calibration of a two-dimensional root water uptake model*. Soil Sci. Soc. Am. J., 65: 1027-1037.
24. Warrick, A.W., 1974. *Time dependent linearized infiltration 1: point sources*. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 38(3): 383-387.
25. Wu, J., Zhanh, R. and Gui, S., 1999. *Modeling soil water movement with water uptake by roots*. Plant Soil, 215: 7-17.