

ارزیابی معادلات زه‌کشی زیرزمینی در حالت جریان غیرماندگار در دشت شادگان استان خوزستان

وحید شهابی‌زاد، علیرضا حسن‌اقلی و عباس ستوده‌نیا

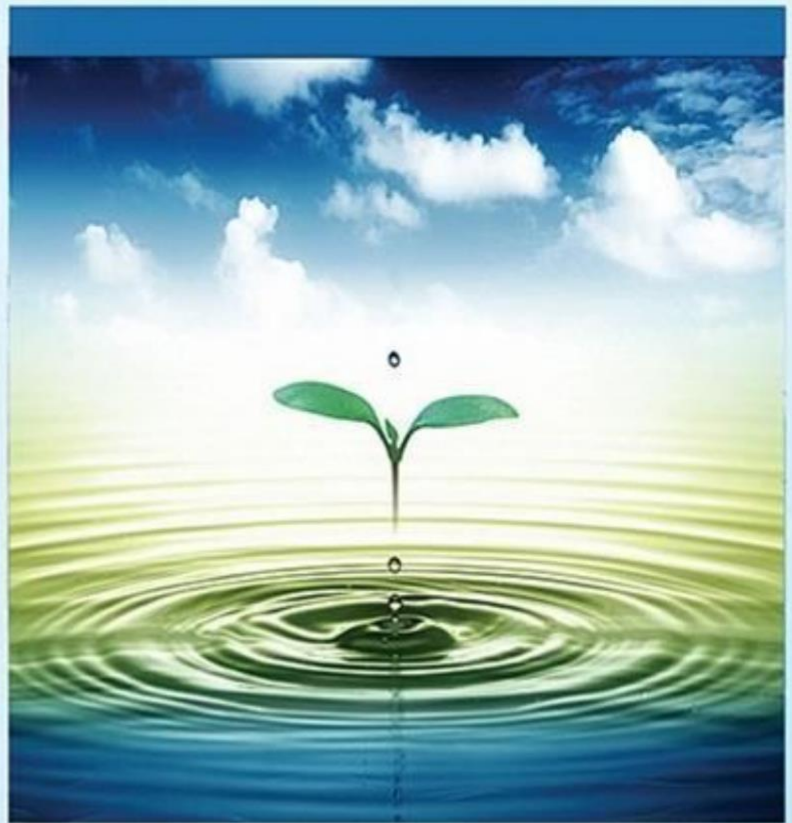
دوره ۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، صفحات ۳۲۱-۳۳۰

Vol. 4(4), Winter 2019, 321 – 330

DOI: 10.22034/jewe.2018.132415.1262

**Evaluation of Underground Drainage Equations  
under Unsteady Flow in Shadegan Plain,  
Khoozestan Province, Iran**

Shahabizad V., Hassanoghli A. and Sotoodehnia A.



[www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله: شهابی‌زاد و، حسن اقلی ع، و ستوده نیا ع. (۱۳۹۷). ارزیابی معادلات زه‌کشی زیرزمینی در حالت جریان غیرماندگار در دشت شادگان استان خوزستان. مجله محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۴، شماره ۴، صفحات: ۳۲۱ – ۳۳۰.

**Citing this paper:** Shahabizad V., Hassanoghli A. and Sotoodehnia A. (2019). Evaluation of underground drainage equations under unsteady flow in Shadegan Plain, Khoozestan Province, Iran. J. Environ. Water Eng., 4(4), 321– 330. DOI: 10.22034/jewe.2018.132415.1262

## ارزیابی معادلات زه‌کشی زیرزمینی در حالت جریان غیرماندگار در دشت شادگان استان خوزستان

وحید شهبابی زادا<sup>۱\*</sup>، علیرضا حسن اقلی<sup>۲</sup> و عباس ستوده نیا<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

<sup>۲</sup>دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

<sup>۳</sup>دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

\*نویسنده مسئول: vahidsh2706@gmail.com

### مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۷/۰۲/۱۰]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۷/۰۸/۱۹]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۷/۰۹/۱۸]

### چکیده

امروزه استفاده صحیح و پایدار از منابع آب و خاک موجود در اولویت دستور کار سازمان‌های اجرایی قرار گرفته است. از این رو، طراحی بهینه سامانه‌های زه‌کشی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. بدین منظور باید ضرایب تخلخل مؤثر و هدایت هیدرولیکی خاک با دقت قابل قبولی تعیین شوند و انواع معادلات زه‌کشی زیرزمینی غیرماندگار نیز در شرایط مزرعه مورد بررسی واقع شوند. این پژوهش در سیستم زه‌کشی زیرزمینی موجود در دشت شادگان واقع در استان خوزستان انجام شد. با اندازه‌گیری زمان، ارتفاع سطح ایستابی و دبی خروجی از لترال زه‌کش، ضرایب هیدرودینامیکی خاک تعیین شد. همچنین، با حل معکوس، ضرایب تخلخل مؤثر و هدایت هیدرولیکی خاک اراضی دشت شادگان تخمین زده شد. به‌طور متوسط با روش Taylor تخلخل مؤثر  $0.117 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  و با روش Skaggs هدایت هیدرولیکی خاک  $0.31 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$  محاسبه شد. در ادامه با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده زمان و ارتفاع سطح ایستابی و همچنین استفاده از معادلات زه‌کشی متداول غیرماندگار فاصله زه‌کش‌ها تخمین زده شد. فاصله محاسبه‌شده با فاصله  $50 \text{ m}$  موجود مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی صورت گرفته نشان داد که به‌ترتیب معادلات Van, Dumm, Glover, Schilfgaard و Bouwer, Schilfgaard اصلاح‌شده و Hammad، از اولویت برخوردارند. در استفاده از معادلات زه‌کشی غیر ماندگار باید توجه داشت که نمی‌توان به‌صورت مطلق معادلات را اولویت‌بندی نمود بلکه در هر منطقه باید این معادلات به‌صورت جداگانه ارزیابی قرار گیرند و بهترین معادله با توجه به شرایط موجود در مزرعه انتخاب شود.

**واژه‌های کلیدی:** تخلخل مؤثر خاک؛ هدایت هیدرولیکی خاک؛ حل معکوس؛ معادلات زه‌کشی غیرماندگار

## ۱- مقدمه

در اراضی کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک، شوری خاک به واسطه آبیاری و تبخیر و تعرق از سطح خاک مشکل رایج و متداول می‌باشد. شوری خاک حدود ۱۰، ۱۱، ۲۱، ۲۳ و ۲۸٪ به ترتیب از اراضی آبی کشاورزی مکزیک، هند، پاکستان، چین و ایالات متحده آمریکا را در بر گرفته و یک عامل محدودکننده توسعه کشاورزی می‌باشد (FAO 1994). در ایران نیز حدود ۲۷٪ از اراضی آبی کشاورزی دارای مشکل شوری خاک می‌باشند (Momeni 2010). بهترین راه کار برای کنترل شوری اراضی کشاورزی ایجاد زه کش زیرزمینی می‌باشد (FAO 1994).

اولین معادله برای طراحی سیستم زه کشی توسط پژوهشگر هلندی Hooghoudt در سال ۱۹۴۰ ارائه شد (Gupta 2002). استفاده از این فرمول برای مناطق مرطوب در سرتاسر جهان متداول است. در مناطق مرطوب معیار طراحی ضریب زه کشی یا مقدار عمق تخلیه آب در بازه زمانی مشخص می‌باشد ولی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مقدار بارندگی کمترین ملاحظات را در طراحی زه کشی زیرزمینی دارا می‌باشد؛ زیرا منبع اصلی آب اضافه، هدررفت آبیاری می‌باشد. این پارامتر باعث صعود سطح ایستابی می‌شود. در این مناطق بایستی از معادلات غیرماندگار استفاده شود.

معادلات تحلیلی غیرماندگار جهت طراحی زه کشی زیرزمینی از حل معادله بوزینسک حاصل می‌شود. در تمامی معادلات زه کشی برای حالت غیر ماندگار، ضریب تخلخل قابل زه کشی یا تخلخل مؤثر و هدایت هیدرولیکی خاک نقش اساسی ایفا می‌کند و باید در مطالعات زه کشی این ضرایب با دقت قابل قبول تعیین گردند (Upadhyaya and Chauhan 2000).

Torabi (2014) در منطقه رودشت اصفهان به ارزیابی هشت معادله زه کشی برای تبیین جریان در حالت غیرماندگار پرداخت. به منظور تخمین هدایت هیدرولیکی خاک از روش تخلیه آب از گودال (Bouwer and Rice 1983) و به منظور تخمین تخلخل مؤثر از روش (Skaggs et al 1973)

al. استفاده نمود. نتایج تحقیق نشان داد که در منطقه رودشت اصفهان با بافت سنگین (لوم رسی و رس سیلتی) و لایه نفوذناپذیر به عمق  $3/4$  m، معادله Luthin بهترین عملکرد و معادلات Hammad و Glover نامطلوب‌ترین عملکرد جهت تخمین فاصله واقعی (۳۰ m) را داشتند.

Kumar et al. (2012) در هند به ارزیابی چهار معادله زه کشی زیرزمینی در حالت غیرماندگار پرداختند. ضرایب تخلخل مؤثر و هدایت هیدرولیکی خاک در محدوده مورد مطالعه را با روش حفر چاهک تعیین کردند. منبع آب اضافی عمدتاً ناشی از نشت آب از کانال آبیاری بود. بافت خاک در محدوده مورد مطالعه بافت سبک (بیش از ۸۰٪ شن) داشت. و لایه نفوذناپذیر سطحی در عمق  $1/5$  تا  $3$  m قرار داشت. آن‌ها نتیجه گرفتند معادله اصلاح شده Glover بهترین عملکرد را جهت تخمین فاصله بین زه کش‌ها و پیش‌بینی ارتفاع سطح ایستابی در حد واسط بین دو زه کش را داشته است.

با توجه به تحقیقات صورت گرفته می‌توان نتیجه گرفت که در هر منطقه و با شرایط حاکم بر محیط تنها تعداد محدودی از معادلات می‌تواند رفتار سیستم زه کشی را پیش‌بینی نماید. Yousef et al. (2016) در مصر ارزیابی سه معادله زه کشی زیرزمینی (Luthin، Hammad و Glover) را ارزیابی کردند. ترتیب اولویت معادلات به ترتیب Glover، Luthin و Hammad بود.

عوامل زیادی از جمله بافت خاک، اقلیم منطقه، کیفیت آب آبیاری، عمق لایه نفوذناپذیر، پوشش زه کش‌ها و ... در سیستم زه کشی زیرزمینی اثرگذار می‌باشد. در هر منطقه باید با توجه به شرایط محل انواع معادلات مورد بررسی قرار بگیرد و بهترین معادله برای سیستم زه کشی شناسایی شود تا در مطالعات و طراحی از آن معادله استفاده شود. هدف از این پژوهش شناسایی بهترین معادله برای رفتار سیستم زه کشی زیرزمینی مستقر در دشت شادگان استان خوزستان بود.

<sup>1</sup> - Pit Bailing

منطقه خشک و نیمه‌خشک است. از رودخانه جراحی برای تأمین آب آبیاری اراضی استفاده شد. بافت خاک از عمق ۰ تا ۹۰، ۹۰ تا ۱۲۰ و ۱۲۰ تا ۲۱۰ cm به ترتیب رس سیلتی، لوم رس سیلتی و رس سیلتی می‌باشد. مشخصات خاک منطقه، آب آبیاری و آب زیرزمینی در جدول (۱) آورده شده است. به‌طور متوسط درصد توزیع بندی ذرات خاک برای ذرات رس، سیلت و شن به ترتیب ۲۹، ۵۰ و ۲۱ می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دشت شادگان جلگه‌ای است هموار که در حدفاصل ۱۰۰ km جنوب شرقی اهواز و ۷۰ کیلومتری شمال شرقی آبادان در استان خوزستان واقع شده است. در شکل (۱) موقعیت مکانی محل تحقیق نشان داده شده است. شیب اراضی در این محدوده بسیار کم و به‌طور متوسط حدود ۰/۰۰۵ m/m و در جهت کلی شمال شرقی به جنوب غربی است. کشت غالب منطقه گندم و وسعت منطقه حدود ۲۵۰۰ ha است. اقلیم



شکل ۱- موقعیت مکانی محدوده مورد مطالعه

Fig. 1 Location of the studied area

جدول ۱- برخی از خصوصیات شیمیایی خاک، آب آبیاری و آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه

Table 1 Some of the chemical properties of the soil, irrigation water and ground water in the studied area

Sample	EC (ds/m)	pH	Anions (meq/l)			Cations (meq/l)		SAR
			SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	
Soil	32.1	7.61	28.3	4.06	294	128	19.7	26.4
Irrigation Water	23.5	7.73	12.9	3.46	36	25	36.8	10.1
Ground Water	66.9	6.5	50	2.5	775	165	652	72

حدفاصل میانی دو خط لترال جهت اندازه‌گیری متوسط سطح ایستابی بین دو زه‌کش استفاده شد. در اولین زمان بعد از آبیاری (۲۴ تا ۴۸ h پس از اتمام آبیاری) که امکان رفتن به مزرعه وجود داشت و همچنین اطمینان از شروع مرحله افت سطح ایستابی، اندازه‌گیری ارتفاع سطح ایستابی بین دو زه-

### ۲-۲- مشخصات سیستم زه‌کشی زیرزمینی

فاصله بین زه‌کش‌ها ۵۰ m، عمق کارگذاری زه‌کش‌ها ۱/۷ m، طول زه‌کش‌ها ۲۲۰ m و جنس لوله زه‌کش‌ها PVC با قطر ۱۲۵ mm می‌باشد. عمق لایه غیرقابل نفوذ ۳/۵ m نسبت به سطح زمین می‌باشد. از پیژومترهای نصب‌شده در

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{n}} \quad (1)$$

که در آن  $p_i$  فاصله زهکش به دست آمده از معادله،  $o_i$  مقدار فاصله موجود زهکشها ( $m = 50$ ) و  $n$  تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده است.

## ۲-۴- معادلات متداول زهکشی در حالت جریان غیرماندگار

جدول (۲) معادله‌های رایج و شناخته شده در جریان غیرماندگار مورد ارزیابی را نشان می‌دهد. اجزای معادلات جدول (۲) به صورت زیر است:

$A$ : ضریب ثابت معادله وان شیلفگارد و گلوهر اصلاح شده است که از رابطه  $[1 - (d_e/d_e + h_0)^2]^{0.5}$  به دست می‌آید (بدون واحد)،  $C$ : ضریب ثابت معادله باور و وان شیلفگارد بین  $0.8$  تا  $1/1$  است (بدون واحد)،  $D_a$ : متوسط ضخامت لایه اشباع معادله گلوهر است که از رابطه  $D_a = d_e + h_0/2$  تعیین می‌شود ( $m$ )،  $D_d$ : متوسط ضخامت لایه اشباع معادله دام ( $m$ )،  $d_e$ : عمق معادل ( $m$ )،  $f$ : تخلخل مؤثر (بدون واحد)،  $h_t$ : ارتفاع سطح ایستابی در روز  $t$ ام ( $m$ )،  $K$ : هدایت هیدرولیکی خاک ( $m/d$ )،  $L$ : فاصله بین زهکشها ( $m$ )،  $m$ : شیب خط رگرسیون بین دبی خروجی در واحد طول لوله زهکش در مقابل حاصل ضرب هدایت هیدرولیکی در ارتفاع سطح ایستابی (بدون واحد)،  $q$ : دبی خروجی از لترال در واحد سطح ( $m/d$ )،  $t$ : زمان ( $d$ )،  $Z$ : عمق سطح ایستابی نسبت به سطح زمین ( $m$ ) و  $r$ : شعاع لوله زهکش ( $m$ ) است.

## ۳- یافته‌ها و بحث

### ۳-۱- تخلخل مؤثر و هدایت هیدرولیکی خاک

معادلات برازش یافته برای تغییرات ارتفاع سطح ایستابی و دبی خروجی از زهکش نسبت به زمان برای  $240$  سنجش صورت گرفته به صورت رابطه‌های (۱) و (۲) می‌باشد:

$$h_t = 1.33t^{0.48}, \quad R^2 = 0.97 \quad (1)$$

$$q_t = 0.004t^{0.51}, \quad R^2 = 0.97 \quad (2)$$

کش و دبی خروجی از لترال زهکش شروع شد. در این تحقیق  $5$  لترال مورد بررسی قرار گرفت. اندازه‌گیری داده‌ها (ارتفاع سطح ایستابی و دبی خروجی از لترال) برای چهار دور آبیاری انجام شد. اندازه‌گیری دبی خروجی از لترال به روش حجمی صورت گرفت. اندازه‌گیری‌ها در بازه‌های زمانی مشخص روزانه ( $24$  h) و تا وقتی که دبی خروجی از لترال تقریباً ناچیز شود ادامه داشت. به طور متوسط ارتفاع اولیه سطح ایستابی  $1/55$  m بود.

### ۲-۳- روش انجام پژوهش

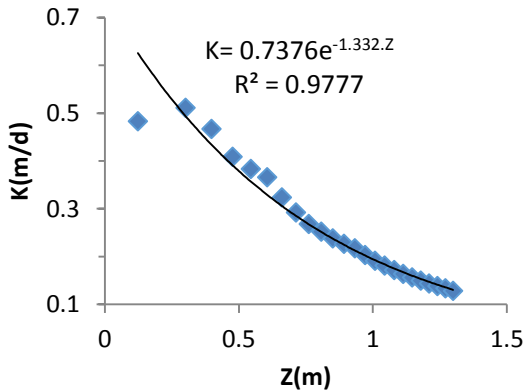
به منظور تخمین ضرایب هیدرودینامیکی خاک باید متوسط تغییرات ارتفاع، سطح ایستابی و همچنین پارامتر دبی خروجی از زهکش نسبت به زمان مشخص باشد. بدین منظور مناسب‌ترین خط رگرسیون برای تغییرات ارتفاع سطح ایستابی و دبی خروجی از زهکش نسبت به زمان برازش داده شد. در این پژوهش برای تخمین تخلخل مؤثر از روش Taylor (1960) و برای تعیین هدایت هیدرولیکی از روش Skaggs (1976) استفاده شد. در هر گام زمانی ( $24$  h) با اندازه‌گیری دبی خروجی از زهکش و ارتفاع سطح ایستابی مقدار تخلخل مؤثر و هدایت هیدرولیکی به ازای عمق مشخص سطح ایستابی تعیین شد. در روش‌های پیشگفت رابطه بین تخلخل مؤثر و هدایت هیدرولیکی خاک نسبت به عمق سطح ایستابی مشخص می‌شود. از محاسن ترکیب دو روش فوق، عدم نیاز به استفاده از معادلات زهکشی، عدم نیاز به انجام آزمایش به صورت مستقیم و جداگانه (تنها اندازه‌گیری سطح ایستابی و دبی خروجی از زهکش با گذشت زمان نیاز است)، در نظر گرفتن تغییرات ناهمروندی و ناهمگنی خاک و حجم نمونه خاک در مقیاس مزرعه‌ای است. با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده ارتفاع سطح ایستابی و زمان در مزرعه و همچنین مقادیر محاسبه شده تخلخل مؤثر و هدایت هیدرولیکی خاک، فاصله بین دو خط زهکش را می‌توان با فرمول‌های رایج و متداول تعیین کرد. هر چه فاصله به دست آمده به فاصله موجود ( $m = 50$ ) نزدیک‌تر باشد، در واقع بیانگر دقت معادله استفاده شده است. جهت ارزیابی معادلات زهکشی از شاخص RMSE (معادله ۱) استفاده شد.

جدول ۲- معادلات رایج زه‌کشی در جریان غیر ماندگار (Pali 2013)

Table 2 Common drainage equations in non-stationary flow conditions (Pali 2013)

Name of equation		Equation
1	Luthin	$L = 4mkt/\pi f \ln h_0/h_t$
2	Glover	$L = \pi [kD_a t / f \ln(4h_0/\pi h_t)]^{0.5}$ for $D > h_0$
3	Van Schilfgaarde	$L = 3A[k(d_e + h_t)(d_e + h_0)t/2f(h_0 - h_t)]^{0.5}$
4	Dumm	$L = \pi \left[ kD_a t / f \ln 1.16 \frac{h_0}{h_t} \right]^{0.5}$
5	Hammad	$L = 2\pi kt / f \ln(h_0/h_t) \ln(L/\pi r)$
6	Modified Golver	$L = 3A[kd_e t / f \ln h_0(2d_e + h_t)/h_t(2d_e + h_0)]^{0.5}$
7	Bouwer and Van Schilfgaarde	$\frac{kt}{f} = \frac{CL^2}{8d_e} \ln \frac{h_0(h_t + 2d_e)}{h_t(h_0 + 2d_e)}$

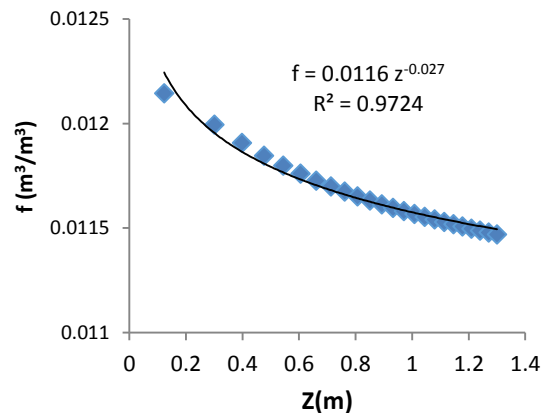
(FAO ۱۹۸۰). در این تحقیق مقادیر به‌دست‌آمده برای  $k$  و  $f$  در خاک سنگین بافت می‌باشد (محدوده مجاز و توصیه‌شده است).



شکل ۳- متوسط تغییرات هدایت هیدرولیکی نسبت به عمق سطح ایستابی

Fig. 3 The mean of soil hydraulic conductivity (K) changes relative to the water table depth (Z)

با پایین افتادن سطح ایستابی از عمق ۰/۱۵ تا ۱/۳ m مقدار  $f$  به مقدار جزئی (حدود  $۰/۰۰۰۷ \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) و  $k$  به مقدار  $۰/۳۲۵ \text{ m/d}$  کاهش یافت. در این پژوهش، مقادیر ضرایب  $f$  و  $k$  با پایین افتادن سطح ایستابی کاهش یافت. در خاک شنی، با پایین افتادن عمق سطح ایستابی افزایش مقدار  $f$  و



شکل ۲- متوسط تغییرات تخلخل مؤثر نسبت به عمق سطح ایستابی

Fig. 2 The mean of effective porosity (f) changes relative to the water table depth (Z)

در شکل (۲) تغییرات ضریب تخلخل مؤثر نسبت به عمق سطح ایستابی و در شکل (۳) تغییرات ضریب هدایت هیدرولیکی خاک نسبت به عمق سطح ایستابی نشان داده شده است. مطابق دستورالعمل Pali et al. (2014) مقدار متوسط پارامتر تخلخل مؤثر  $۰/۰۱۱۷ \text{ (m}^3/\text{m}^3)$  و مقدار متوسط پارامتر هدایت هیدرولیکی خاک  $۰/۳۱ \text{ m/d}$  محاسبه شد.

مقادیر توصیه شده برای پارامتر تخلخل مؤثر بین  $\text{m}^3/\text{m}^3$  ۰/۰۱ تا  $\text{m}^3/\text{m}^3$  ۰/۰۳ و برای هدایت هیدرولیکی خاک بین

اشاره شده می توان ضرایب هیدرودینامیکی خاک را به سادگی تعیین نمود. همچنین در این روش اثر عمق سطح ایستابی در مقدار ضرایب هیدرودینامیکی خاک ( $k$  و  $f$ ) لحاظ شده است.

کاهش مقدار  $k$  گزارش شده است (Pali et al. 2014). کاهش مقدار  $k$  می تواند ناشی از سنگین تر شدن بافت خاک و فشار تراکم ناشی از لایه های بالایی خاک باشد. طولانی شدن روند زه کشی خاک وقتی که سطح ایستابی پایین افتاده است، ناشی از کاهش مقدار  $k$  است. با استفاده از ترکیب دو روش

جدول ۳- فاصله زه کش ها با استفاده از معادلات رایج زه کشی در حالت غیرماندگار

Table 3 The drainage distances obtained using drainage equations in unsteady condition

t	h	f	k	Calculated distance (m)						
				Luthin	Dumm	Golver	Van Schilfgaarde	Modified Golver	Bouwer and Van Schilfgaarde (C=0.8)	Hammad
1	1.33	0.01208	0.55	94.1	67.7	59.7	92.4	72.4	95.7	265.8
2	0.95	0.01176	0.33	36.9	51.3	49.1	59.3	44.5	58.9	117.9
3	0.78	0.01168	0.27	31.8	48.9	47.9	56.1	41	54.1	100.9
4	0.68	0.01165	0.23	30.9	48.8	48.3	56	40.1	53.1	98.6
5	0.61	0.01162	0.21	31.2	49.3	49.1	57	40.2	53.1	99.4
6	0.56	0.0116	0.20	32	50.1	50.2	58.2	40.5	53.6	101.5
7	0.52	0.01159	0.19	33	51	51.3	59.6	41.1	54.3	104.2
8	0.49	0.01158	0.18	34.1	52	52.5	61.1	41.7	55.1	107.4
9	0.46	0.01157	0.17	35.3	53	53.6	62.2	42.3	55.9	110.7
10	0.44	0.01157	0.17	36.5	54	54.7	64.1	43	56.8	113.9
11	0.42	0.01156	0.16	37.8	54.9	55.8	65.5	43.6	57.7	117.3

ایستابی نزدیک به سطح زمین است، روش ترکیبی شرح داده شده (Taylor (1960) و Skaggs (1976) نتوانسته است تخمین قابل قبولی از  $k$  ارائه نماید که نتیجه آن در تعیین  $L$  نمایان شده است. خاک سطحی به علت عوامل زراعی، کود و مدیریت بهره برداری از اراضی و همچنین ریشه گیاهان دستخوش تغییرات اساسی می شود که در عمل روی خصوصیت هیدرولیکی خاک نیز اثرگذار است و این اثر را نمی توان تنها با معادله بوزینسک در نظر گرفت. معیار طراحی برای زه کشی جریان های غیرماندگار پایین افتادن سطح ایستابی ۳۰ cm طی مدت ۴۸ h می باشد (Upadhyaya and Chauhan 2000).

باید توجه داشت که اکثر گیاهان شرایط غرقابی را تا ۴۸ h می توانند تحمل کنند و همچنین پایین انداختن سطح

### ۲-۳- ارزیابی معادلات زه کشی زیرزمینی

در جدول (۳) مقدار فاصله زه کش ها به دست آمده از هفت معادله زه کشی در حالت غیرماندگار ارائه شده است. تمام معادلات زه کشی که در حالت غیرماندگار مورد استفاده قرار می گیرند، از معادله بوزینسک به دست آمده اند. از آنجا که محققین در حل معادله بوزینسک فرضیات مختلف و متنوعی در نظر گرفته اند، شکل و فرم معادلات متفاوت است.

به استناد شاخص RMSE برترین معادلات در این تحقیق به ترتیب Van and Bouwer، Dumm، Glover، Schilfgaarde، Van Schilfgaarde، Glover اصلاح شده، Hammad و Luthin می باشند. در روز اول آزمایش هیچ کدام از معادلات نتوانستند تخمین قابل قبولی از فاصله بین زه کش ها ارائه کنند. به نظر می رسد زمانی که سطح

استفاده از معادله Hammad تنها برای زمانی که عمق لایه غیرقابل نفوذ بسیار زیاد باشد، توصیه شده است (Skaggs et al. 1973). در ایران استفاده از معادلات Glover و Dumm در طراحی سامانه زه‌کشی زیرزمینی بسیار رایج است (Haghayeghi Moghadam 2016). در این پژوهش نیز به جز روز اول دو معادله اشاره شده توانست با کمترین انحراف خطا فاصله زه‌کش‌ها را تخمین زدند.

ایستایی به میزان ۳۰ cm طی مدت ۱ d موجب کاهش فاصله بین زه‌کش‌ها و افزایش قابل توجه هزینه احداث سیستم زه‌کشی می‌شود که توجیه اقتصادی ندارد. عمق لایه غیرقابل نفوذ یک عامل بسیار مهم و کلیدی در معادله Hammad می‌باشد. در بسیاری از تحقیقات انجام شده معادله Hammad مشابه تحقیق انجام شده فاصله زه‌کش‌ها را بسیار بیشتر از فاصله حقیقی برآورد کرده است (Torabi 2014).

جدول ۴- مقایسه عملکرد معادله‌های زه‌کشی در شرایط غیرماندگار حاصل از تحقیقات انجام شده

Table 4 Comparison of the performance of drainage equations in unsteady conditions

Methods	Place of research	Soil texture	Drain spaces (m)	Depth of drainage pipe (m)	Depth of impermeable layer (m)	Order of excellence of drainage equations				
						1	2	3	4	5
(Boroomand Nasab, 1996)	Khuzestan	L & CL*	25 50 75	1.8	2.5	DUM**	GLO	BVS	VSC	-
(Torabi 2014)	Esfahan	CL	30	1.4	3.4	LUT	DUM	BVS	GLO	HAM
(Haghayeghi Moghadam et al., 2007)	Ardabil	CL	25 50 75	1.9	4.4	DUM	GLO	BVS	VSC	-
(Haghayeghi Moghadam et al., 2005)	Fars	L & SL	50 100 150	1.85	3.8	HAM	BVS	VSC	GLO	-
(Kumar et al., 2012)	Kishmar	SL	125	1.6	3	GLO	VSC	DUM		
(Pali et al., 2014)	India	SL & S	50	1.6	3.4	MGL	GLO	BVS	VSC	LUT

\*- L: Loam, CL: Clayloam, SL: Sandyloam

\*\* - Dum: Dumm, GLO: Glover, MGL: Modified Golver, BVS: Bouwer and Van Schilfgaarde, VSC: Van Schilfgaarde, HAM: Hammad, LUT: Luthin

در این پژوهش، معادلات اصلاح شده Glover و Van Schilfgaarde عملکرد متوسطی داشته‌اند و نمی‌توان استفاده از آن‌ها را توصیه نمود. در ادامه، نتایج پژوهش‌های دیگر محققین نیز در زمینه ارزیابی سامانه‌های زه‌کشی زیرزمینی در جدول (۴) ارائه شده است.

با توجه به جدول (۴) می‌توان نتیجه گرفت هر یک از معادلات زه‌کشی می‌تواند نسبت به مابقی ارجحیت داشته باشد. به عبارت ساده‌تر هیچ‌گاه نمی‌توان یک معادله مشخص را به‌عنوان بهترین معادله در نظر گرفت و استفاده از آن را توصیه نمود. معادله Hammad یکی از ضعیف‌ترین معادلات

معادله Bouwer و Van Schilfgaarde نیز کارایی قابل قبولی جهت تخمین فاصله بین ۲ زه‌کش دارد. در این معادله ضریب اصلاحی C که مربوط به شکل سطح ایستایی می‌باشد، مقدار متغیری دارد؛ برای روزهای اول که سطح ایستایی نزدیک زمین است، مقدار ۱/۲ و برای روزهای میانی و انتهایی بین ۱ تا ۰/۸ پیشنهاد شده است (Pali et al. 2014). اگر ضریب C برای روز اول ۳ در نظر گرفته شود، فاصله بین زه‌کش ۴۹/۴ m به دست می‌آید. بنابراین، معادله Bouwer و Van Schilfgaarde با ضریب اصلاحی کنترل شده C می‌تواند مشکل روز اول را برطرف نماید.



۱- با استفاده از روش حل معکوس و ترکیبی Taylor و Skaggs می‌توان با دقت قابل‌قبولی ضرایب هیدرودینامیکی خاک را تعیین نمود. مزیت عمده روش ترکیبی ارائه‌شده، ساده و کم‌هزینه بودن در قیاس با سایر روش‌های موجود و همچنین در برگرفتن حجم نمونه خاک در مقیاس مزرعه‌ای و در نظر گرفتن ناهمروندی و ناهمگنی خاک است.

۲- معادله‌های Glover و Dumm بهترین عملکرد و معادله‌های Luthin و Hammad ضعیف‌ترین عملکرد برای تخمین فاصله بین زهکش‌های زیرزمینی دشت شادگان را داشتند.

۳- متناسب با شرایط مزرعه‌ای موجود و فرضیات مورد استفاده در هر معادله زهکشی زیرزمینی باید برترین معادله زهکشی را برای تخمین فاصله زهکش‌ها و ارتفاع سطح ایستایی میان دو زهکش انتخاب کرد.

در ارزیابی زهکش‌های زیرزمینی می‌باشد که در بسیاری از مطالعات بدان اشاره‌شده است. ولی در (2005) et al. HaghayeghiMoghadam بهترین معادله ارزیابی‌شده است. در مطالعات زهکشی، باید مناسب‌ترین معادله زهکشی سازگار را با شرایط مزرعه شناسایی نمود. هرکدام از معادلات با توجه به فرضیات مشخص از معادله بوزینسک به‌دست‌آمده است. که پارامترهایی همانند اقلیم منطقه، کیفیت آب آبیاری، کیفیت خاک و مدیریت بهره‌برداری از اراضی و مواردی از این قبیل در ارزیابی معادلات زهکشی تأثیرگذار می‌باشد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش ارزیابی معادلات زهکشی زیرزمینی برای حالت جریان غیرماندگار در دشت شادگان بود. نتایج حاصل از کار میدانی انجام شده به‌طور خلاصه در این بخش ارائه شده است.

## References

- Boroomand Nasab S. (1996). Evaluation of drainage formulas in non-uniform state with collection of data and field information. M.Sc. Dissertation, University of Shahid Chamran Ahwaz, Ahwaz. 223 pp [In Persian].
- Gupta S. K. (2002). A century of subsurface drainage research in India. J. Irrig. Drrain. Sys., 16(1), 69-84.
- HaghayeghiMoghadam S. A. (2016). Recommendations for optimizing the design of the subsurface drainage network. Amoozesh Keshawarzi Nashr, Karaj, Iran [In Persian].
- HaghayeghiMoghadam S. A., Akhavan K., Khwaja Abdullahei M. H., Azizi A. and Naseri A. A. (2005). Evaluation of the relation between subsurface drainages in Ardebil and Khuzestan. Amoozesh Keshawarzi Nashr, Karaj, Iran [In Persian].
- HaghayeghiMoghadam, S. A., Dehghanian, S. E., Akhavan, K. (2007). Investigating and verifying the efficiency of suitable formulas for determining the distance of subsurface drainage. Amoozesh Keshawarzi Nashr, Karaj, Iran [In Persian].
- Kumar R., Bhakar S.R., Jhaharia D. and Morvejalahkami B. (2012). Evaluation of drain spacing equations in the Indira Gandhi Canal command area, India. ISH J. Hydraul. Eng., 18:3, 186-193.
- Momeni A. (2010). Geographic distribution and salinity levels of Iranian soil resources. J. Soil Res., 24(3), 203-215 [In Persian].
- Pali A. K. (2013). Evaluation of non steady subsurface drainage equations for heterogeous saline soils: a case study. IOSR J. Agri. Veter. Sci., 6(5), 45-52.
- Pali A. K., Katre P. and Khalkho D. (2014). An unsteady subsurface drainage equation incorporating variability of soil drainage properties. Water Resour. Manag., 28(9), 2639-2653.
- Prakash A. (2004). Water resources engineering: Handbook of essential methods and design. American Society of Civil Engineers. Reston, Virginia.

- Skaggs, R. W. (1976). Determination of the hydraulic conductivity-drainable porosity ratio from water table measurements. *Trans ASAE*, 19, 73-80
- Skaggs, R. W., Kriz, G. J. and Bernal, R. (1973). Field evaluation of transient drain spacing equations. *Trans ASAE.*, 16, 590-595.
- Taylor G. S. (1960). Drainable porosity evaluation from outflow measurements and its use in drawdown equations. *Soil. Sci.*, 90, 38-345.
- Torabi M. (2014). Field Evaluation of drain spacing equations for Roodasht region of Esfahan. *Water Res. Agri.*, 28(3), 635-644 [In Persian].
- Upadhyaya A. and Chauhan H. S. (2000). An analytical solution for bi-level drainage design in the presence of evapotranspiration. *J. Agri. Water Manag.*, 45(2), 169-184.
- Yousef S. M., Ghaith M. A., Abdel Ghany M. B. and Soliman K. M. (2016). Evaluation and modification of some equations used in design of subsurface drainage systems. 19<sup>th</sup> International Water Technology Conference, Egypt.

## Evaluation of Underground Drainage Equations under Unsteady Flow in Shadegan Plain, Khoozestan Province, Iran

Vahid Shahabizad<sup>1\*</sup>, Alireza Hassanoghli<sup>2\*</sup> and Abbas Sotoodehnia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD Scholar, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

<sup>2</sup>Assoc. Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

<sup>3</sup>Assoc. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

\*Corresponding author: vahidsh2706@gmail.com

### Original Paper

Received: December 30, 2017

Revised: September 7, 2018

Accepted: October 10, 2018

### Abstract

Proper and sustainable use of water and soil resources is on the agenda of executive agencies. Therefore, optimum design of drainage systems is very important. Effective porosity and soil hydraulic conductivity coefficients should be determined with acceptable precision. In addition, it is essential to evaluate the unsteady underground drainage equations under farm conditions. This research was carried out in underground drainage system in Shadegan Plain. The effective porosity and soil hydraulic conductivity were determined by measuring the time, the height of water table, and the discharge outlet from the lateral drain. Moreover, through inverse solving, the soil effective porosity and hydraulic conductivity in Shadegan Plain were estimated. The mean effective porosity calculated using Taylor method was 0.0117 (dimensionless) and the mean soil hydraulic conductivity calculated by Skaggs method was 0.31 m/d. In following, using measured data of time and height of water table and also prevalent unsteady underground equations, the drain intervals were estimated. The calculated distance was analyzed with 50 (m) measured distance. The evaluations showed that the Glover, Dumm, Van Schilfgard, Bouwer and Van Schilfgard, modified Glover and Hammad equations have priority respectively. In using unsteady drain equations, it should be noted that it is not possible to prioritize specific equation. On the other hand, for each region, these equations must be evaluated individually and the best equation must be selected.

**Keywords:** Effective Porosity; Soil Hydraulic Conductivity; Inverse Method; Unsteady Drain Equation.