

## ارزیابی معادله‌های غیرماندگار زهکشی برای تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی در اراضی شالیزاری

عبداله درزی نفت‌چالی<sup>۱\*</sup>، علی شاهنظری<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۵/۱۴

### چکیده

رفع کامل مشکلات زهکشی و فراهم نمودن شرایط کشت مناسب در کلیه فصول سال در بخش وسیعی از شالیزارهای شمال کشور، مستلزم اجرای زهکشی زیرزمینی است. با توجه به شرایط خاص این اراضی، مانند وجود لایه سخت رسی در عمق کم و بارندگی زیاد در فصول مرطوب، استفاده از معادله مناسب برای طراحی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی اهمیت بسیار زیادی دارد. در این تحقیق، کاربرد برخی روابط غیرماندگار زهکشی شامل معادله‌های گلوور-دام، باور-وان شیلنگارد، کراچنهوف-ماسلند و دزو-هلینگا برای تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی در اراضی شالیزاری مورد ارزیابی قرار گرفت. در طول یک فصل کشت کلزا، از آذر ۱۳۹۰ تا فروردین ۱۳۹۱، عمق سطح ایستابی در تیمارهای مختلف پایلوت زهکشی زیرزمینی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اندازه‌گیری شد. عملکرد هر یک از معادله‌ها با استفاده از آماره‌های راندمان (EF)، درصد خطا (PE)، ضریب تعیین (R2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین انحراف (AD) ارزیابی شد. از میان معادله‌های مختلف، معادله دزو-هلینگا عملکرد مناسب‌تری برای برآورد سطح ایستابی در کل دوره مطالعه داشت.

واژه‌های کلیدی: شالیزار، عمق سطح ایستابی، کلزا، معادله‌های زهکشی

### مقدمه<sup>۱</sup>

بیش از ۷۵ درصد شالیزارهای کشور در دو استان شمالی گیلان و مازندران قرار دارد (جواهردشتی و اصفهانی، ۱۳۸۱) که حدود ۷۵/۴۴ درصد شلتوک کشور را تولید می‌کنند (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۹). بیش‌ترین سطح زیرکشت برنج کشور در استان مازندران قرار دارد، به طوری که حدود ۲۱۰ هزار هکتار از ۴۷۰ هزار هکتار سطح زیر کشت (بانک کشاورزی، ۱۳۸۸) از مساحت ۲۳۸۳۳ کیلومترمربعی این استان (بانک کشاورزی، ۱۳۸۹)، به شالیزارها اختصاص دارد. علی‌رغم اختصاص بخش وسیعی از اراضی حاصلخیز استان مازندران به اراضی شالیزاری، عدم سرمایه‌گذاری کافی در گذشته و فراهم نکردن زیرساخت‌های مناسب سبب شد که نه تنها بهره‌وری این اراضی افزایش نیابد، بلکه به دلایل مختلف بخشی از شالیزارها از حیز ارتفاع ساقط شده و دچار تغییر کاربری شوند. نتیجه این وضعیت، فراهم نشدن فرصت‌های مناسب برای تنوع درآمد و در سطح کلان تضعیف رشد اقتصادی می‌باشد. با این وجود، در سال‌های اخیر تغییرات ساختاری مهمی در اراضی شالیزاری ایجاد شده است که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، اجرای طرح‌های تجهیز و یکپارچه‌سازی است. در این

سرانه سطح قابل کشت در ایران ۰/۱۵ تا ۰/۳ هکتار (FAO, 2012) و جمعیت کشور نیز بر اساس آخرین سرشماری سال ۱۳۹۰، حدود ۷۵ میلیون نفر می‌باشد. با توجه به روند رشد جمعیت و به تبع آن کاهش سرانه سطح قابل کشت، تأمین امنیت غذایی برای همگان که به صورت دسترسی منظم به غذای کافی و با کیفیت بالا برای برقراری زندگی پویا و سالم تعریف می‌شود، یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی کشور می‌باشد. با این روند، توجه بیش‌تر به راهکارهای افزایش عملکرد به‌ویژه در زمینه محصولات استراتژیک ضروری به نظر می‌رسد. شالیزارها که یک سوم سطح زیر کشت دنیا را اشغال نموده‌اند، نقش مهمی در تغذیه نیمی از مردم جهان دارند (Guerra et al, 1998). در مورد وسعت اراضی شالیزاری ایران آمار متفاوتی موجود می‌باشد که عبارتند از: بیش از ۶۴۰ هزار هکتار (کریمی، ۱۳۸۷)، ۵۳۶ هزار هکتار (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۹) و ۵۶۴ هزار هکتار (FAO, 2012).

\*- نویسنده مسئول: (Email: abduallahdarzi@yahoo.com)

۱- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری  
۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

معادله گلوور - دام اصلاح شده می‌باشد. به‌وسیله برخی از معادله‌های ماندگار و غیرماندگار زهکشی، فواصل زهکش زیرزمینی برای اراضی شالیزاری مرکز توسعه منابع انسانی - کشاورزی هراز محاسبه شد (Darzi-Naftchali et al, 2014). ارزیابی فواصل محاسبه شده با استفاده از مفهوم تعادل دینامیکی و مدل DRAINMOD نشان‌دهنده کارایی بهتر معادله‌های غیرماندگار برای اراضی مورد مطالعه بود. مرور منابع مختلف نشان داد که تاکنون کارایی معادله‌های غیرماندگار زهکشی برای پیش‌بینی نوسانات سطح ایستابی در اراضی شالیزاری مورد ارزیابی قرار نگرفته است. با توجه به اینکه تشخیص معادله قابل استفاده برای هر منطقه، منوط به ارزیابی آن براساس نتایج تحقیقات مزرعه‌ای است، در این تحقیق کاربرد برخی معادله‌های غیرماندگار زهکشی برای طراحی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری بررسی خواهد شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه و مشخصات پایلوت زهکشی

داده‌های مورد نیاز این تحقیق از پایلوت زهکشی زیرزمینی اراضی شالیزاری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تهیه شد. این پایلوت در سال ۱۳۹۰ در حدود ۴/۵ هکتار از اراضی شالیزاری تجهیز و نوسازی شده این دانشگاه واقع در ۹ کیلومتر جاده ساری - دریا اجرا شد. عرض و طول جغرافیایی منطقه به ترتیب ۳۶/۳۹ درجه شمالی و ۵۳/۰۴ درجه شرقی بوده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵- متر می‌باشد. متوسط بارندگی و متوسط، حداقل و حداکثر دمای هوای ثبت شده در ایستگاه هواشناسی دانشگاه به ترتیب ۶۱۶ میلی‌متر و ۱۷/۳، ۶- و ۳۸/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اقلیم منطقه براساس روش تعیین اقلیم دومارتن، از نوع مرطوب است (بخت‌فیروز، ۱۳۹۰). بخش اعظم بارندگی‌ها (بیش از ۷۰ درصد)، در فصل‌های پاییز و زمستان رخ می‌دهد (Darzi-Naftchali and shahnazari, 2014). علاوه بر این، در ماه‌های آبان تا اسفند مقدار متوسط بارندگی از میانگین تبخیر ماهانه بیش‌تر می‌باشد. بافت خاک لایه‌های مختلف اراضی مورد مطالعه تا عمق ۲۰۰ سانتی‌متری غالباً از نوع سیلتی رس و از ۲۰۰ تا ۳۰۰ سانتی‌متر، رسی می‌باشد. هم‌چنین، عمق رویه بالایی لایه نفوذناپذیر حدود دو متر می‌باشد (درزی و همکاران، ۱۳۹۲). به‌جز آذر ۱۳۹۰ و فروردین ۱۳۹۱، در طول مدت مطالعه (۱۰ آذر ۱۳۹۰ تا ۱۲ فروردین ۱۳۹۱)، مقدار بارندگی ماهانه بیش‌تر از میانگین بلند مدت بارندگی دوره متناظر بود. از نظر دما، ماه‌های فروردین و دی گرم‌تر از وضعیت نرمال و سایر ماه‌ها سردتر از وضعیت نرمال بودند. در ۰، برخی پارامترهای هواشناسی مربوط به دوره مطالعه ذکر شد.

طرح‌ها در قالب یکپارچه‌سازی اراضی، جاده‌های دسترسی و زهکش‌های سطحی نیز احداث می‌شوند. به‌دلیل عدم قابلیت زهکش‌های سطحی در تخلیه سریع آب از منطقه ریشه، طرح‌های یکپارچه‌سازی قادر به برقراری شرایط مناسب برای کشت دوم در اراضی شالیزاری نشد (Darzi-Naftchali et al, 2013). مؤثرترین راهکار برای ایجاد این شرایط، نصب سیستم‌های زهکشی زیرزمینی، علاوه بر زهکش سطحی که جزء لاینفک طرح‌های یکپارچه‌سازی اراضی شالیزاری است، می‌باشد.

عمق و فاصله زهکش‌ها، دو مؤلفه اساسی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی می‌باشند که تعیین بهینه آن‌ها نقش مهمی در کارایی این نوع زهکشی دارد. فاصله زهکش‌ها را می‌توان در دو حالت ماندگار و غیرماندگار به‌دست آورد. در حالت ماندگار، ویژگی‌های هیدرولیکی در طول زمان تغییر نمی‌کند، در زهکشی زیرزمینی میزان تغذیه با تخلیه برابر است و سطح آب در داخل خاک ثابت باقی می‌ماند و میزان تغذیه یا تخلیه در طول زمان ثابت است. چنین حالتی در عمل پیش نمی‌آید ولی در مناطقی که باران‌های با تناوب زیاد دارند، مانند شمال اروپا یا شرق ایالات متحده، می‌توان جریان را نزدیک به حالت ماندگار فرض کرد (Ritzema, 1994). در جریان‌های غیر ماندگار، مقدار جریان تابعی از زمان بوده و در نتیجه سطح ایستابی درون خاک نیز نوسان می‌کند. معادله‌های گلوور - دام، باور - وان شیلیفگارد، دزو - هلینگا و کراجهوف - ماسلند برخی از معادله‌های غیرماندگار زهکشی می‌باشند. کاربرد معادله کراجهوف - ماسلند برای تعیین فاصله زهکش‌ها در شرایط جریان غیرماندگار (Djurovic and Stricevic, 2003) نشان داد که این معادله فاصله زهکش‌ها را بسیار بیش‌تر از مقدار واقعی برآورد می‌کند که دلیل آن عدم توجه به سایر منابع تغذیه غیر از بارندگی و آبیاری عنوان شد. در تحقیقی (Tripathi et al, 2008)، قابلیت معادله‌های گلوور - دام، دزو - هلینگا و کراجهوف - ماسلند برای طراحی سیستم زهکشی زیرزمینی در مناطق خشک هند بررسی شد. براساس نتایج، معادله گلوور - دام مناسب‌ترین معادله برای ارزیابی بار آبی و دبی زهکش بود و برای پیش‌بینی روزانه بار آبی و دبی زهکش جهت طراحی سازه‌های زهکشی نظیر حوضچه‌های تبخیر توصیه شد. هالباک کوتوارا با استفاده از مدل WaSim فاصله زهکش‌ها را برآورد نمود و نتیجه گرفت که فواصل زهکش‌ها در شرایط غیر ماندگار کم‌تر از مقادیر متناظر در حالت ماندگار می‌باشد (Halbac-Cotoara, 2009). راندمان دفع آب مازاد به‌وسیله سیستم‌های زهکشی زیرزمینی، در شرایط استفاده از چهار معادله غیرماندگار زهکشی شامل گلوور - دام، وان شیلیفگارد، هوخهات تلفیقی و گلوور - دام اصلاح شده ارزیابی شد (Kumar et al, 2013). براساس نتایج، درصد انحراف بین فواصل زهکش واقعی و برآورد شده برای معادلات مذکور، به‌ترتیب ۳۱/۳۳- تا ۵۵/۳۱- درصد، ۹/۴ تا ۱۷/۷ درصد، ۱۱/۸۴ تا ۲۰/۸۳ درصد و ۶/۱ تا ۱۴/۶۲ درصد بود که نشان‌دهنده درصد خطای کم‌تر

جدول ۱- بارندگی و دمای ثبت شده از آذر ۱۳۹۰ تا فروردین ۱۳۹۱

ماه	بارندگی (mm)	میانگین بلند مدت بارندگی (mm)	حداقل دما (°C)	حداکثر دما (°C)	میانگین دما (°C)	میانگین بلند مدت دما (°C)
آذر	۴۷/۳	۸۹/۷	-۱	۱۶	۷/۸	۱۰/۶
دی	۸۰/۵	۷۷	-۱	۲۲/۶	۹/۲	۷/۵
بهمن	۱۴۶/۳	۵۵/۵	-۱/۴	۱۱/۲	۵/۲	۷/۳
اسفند	۱۲۵/۶	۶۳	-۱/۶	۲۷/۶	۸/۲	۹/۶
فروردین	۱۳/۶	۴۷/۷	۱/۴	۳۶/۲	۱۵/۵	۱۳/۲

$$L = \pi \left[ \frac{\frac{Kdt}{\mu}}{\ln 1.16 \frac{h_0}{h_t}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

که در آن‌ها؛  $h_0$  (متر) و  $h_t$  (متر) بار آبی در نقطه وسط دو زهکش در زمان اولیه و زمان  $t$ ،  $L$  فاصله بین زهکش‌ها (متر)،  $d$  عمق معادل تا لایه غیر قابل نفوذ (متر)،  $K$  ضریب هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)،  $T$  دور آبیاری (روز) و  $\mu$  تخلخل مؤثر (مترمکعب بر متر مکعب) می‌باشد.

اگر فرض شود زمانی که تغذیه صورت نمی‌گیرد، مقدار دبی خروجی از زهکش‌ها ( $q$ ) بستگی به سرعت افت سطح ایستابی ( $dh/dt$ ) دارد، معادله باور- وان شیلفگارد به دست می‌آید که به صورت‌های زیر بیان می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۲):

$$L^2 = \frac{10Ktd}{\mu} \left[ \ln \frac{h_0(2d+h_t)}{h_t(2d+h_0)} \right]^{-1} \quad (3)$$

$$L^2 = \frac{10Ktd}{\mu} \left[ \ln \frac{h_0}{h_t} \right]^{-1} \quad (4)$$

در معادله (۳) جریان از بالا و پایین زهکش لحاظ شده و در معادله (۴) تنها جریان از زیر زهکش‌ها در نظر گرفته می‌شود. معادلات مربوط به سطح ایستابی متغیر اولین بار توسط دزو-هلینگا (۱۹۵۸) ارائه شد که شکل معرف تغییرات سطح ایستابی آن، به صورت معادله (۵) می‌باشد:

$$h_t = h_{t-1} e^{-\alpha \Delta t} + \frac{R_{\Delta t}}{0.8\mu\alpha} (1 - e^{-\alpha \Delta t}) \quad (5)$$

که در آن؛  $q$  دبی خروجی از زهکش‌ها (متر در روز)،  $R$  تغذیه آب زیرزمینی از بارندگی یا منبع دیگری مانند آبیاری  $R\Delta t$  متوسط مقدار تغذیه در بازه زمانی  $\Delta t$  می‌باشد برحسب متر در روز،  $h$  عمق سطح ایستابی در نقطه میانی فاصله بین دو زهکش (متر) و  $\Delta t$  دوره زمانی مورد نظر (روز) می‌باشد. در این معادله‌ها، فقط جریان از زیر زهکش‌ها لحاظ می‌شود (Singh et al, 1999). معادله کراجنهوف-ماسلند برای

سه سیستم زهکشی زیرزمینی موجود در مزرعه که در این مطالعه استفاده شدند عبارتند از سیستم زهکشی با عمق ۰/۹ متر با فاصله ۳۰ متر ( $D_{0.9}L_{30}$ )، سیستم زهکشی با عمق ۰/۶۵ متر با فاصله ۱۵ متر ( $D_{0.65}L_{15}$ ) و سیستم زهکشی با عمق ۰/۶۵ متر با فاصله ۳۰ متر ( $D_{0.65}L_{30}$ ). مشخصات کامل این سیستم‌های زهکشی و نحوه انتخاب آن‌ها، به تفصیل در گزارش‌های قبلی مربوط به این پایلوت زهکشی ارائه شد (درزی و همکاران ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲). برای بررسی اثر سیستم‌های زهکشی بر عمق سطح ایستابی، چاهک‌هایی به عمق یک متر در نقطه میانی فاصله بین دو زهکش در هر سه سیستم زهکشی حفر شد. برای حفظ پایداری دیواره چاهک‌ها و اندازه‌گیری آسان‌تر عمق سطح ایستابی، کلیه چاهک‌ها با استفاده از لوله‌های پی‌وی‌سی مشبک تجهیز شدند. تراز سطح کلیه چاهک‌های مشاهده‌ای با استفاده از دوربین نقشه‌برداری تعیین شد. در بخشی از یک فصل کشت کلزا که شرایط زهکشی آزاد برقرار بود (از هشت آذر ۱۳۹۰ تا ۱۴ فروردین ۱۳۹۱)، عمق سطح ایستابی در این چاهک‌های مشاهده‌ای اندازه‌گیری شد.

### معادله‌های غیر ماندگار زهکشی

برخی از مهم‌ترین معادله‌های غیرماندگار زهکشی شامل معادله‌های گلوور-دام، باور- وان شیلفگارد، دزو-هلینگا، و کراجنهوف-ماسلند در این تحقیق استفاده شدند. در روش گلوور-دام، تنها نوبتی از آبیاری مورد توجه قرار می‌گیرد که در آن یا میزان عمق آبیاری بیش‌ترین مقدار را دارد و یا فاصله آبیاری کم‌ترین است به طوری که بحرانی‌ترین حالت ممکن در این دوره اتفاق می‌افتد. این رابطه برای سطح ایستابی اولیه تخت و سهمی درجه چهار به ترتیب به صورت معادله‌های (۱) و (۲) نشان داده می‌شود (Kahlowan and Khan, 2004):

$$L = \pi \left[ \frac{\frac{Kdt}{\mu}}{\ln \frac{4h_0}{\pi h_t}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

AD برابر صفر است.

## نتایج و بحث

با استفاده از معادله دزو-هلینگا مقادیر عمق سطح ایستابی برای روزهای مختلف مدت مطالعه برآورد و نتایج حاصله برای تیمارهای  $D_{0.65}L_{15}$  و  $D_{0.65}L_{30}$ ،  $D_{0.9}L_{30}$  در ۰ارایه شد. به طور کلی، این معادله برای هر سه تیمار روند تغییرات سطح ایستابی را همانند مقادیر واقعی پیش‌بینی نمود. با این وجود، تغییرات زیادی بین مقادیر واقعی و برآورد شده در تیمارهای  $D_{0.65}L_{30}$  و  $D_{0.9}L_{30}$  مشاهده شد. در تیمار  $D_{0.9}L_{30}$ ، در اوایل مدت مطالعه، سطح ایستابی کم‌تر از مقادیر واقعی و سپس بیش‌تر از آن برآورد شد و در انتها به مقادیر واقعی نزدیک شد. بررسی روند تغییرات سطح ایستابی به همراه بارندگی نشان می‌دهد که تناوب زیاد بارندگی‌ها از ۲۹ دی ۱۳۹۰ سبب صعود سطح ایستابی و قرار گرفتن آن در بالا یا نزدیک سطح زمین در تیمار  $D_{0.9}L_{30}$  شد. در این شرایط، معادله دزو-هلینگا سطح ایستابی را خیلی بیش‌تر از مقادیر واقعی برآورد نمود در حالی که در شرایط تناوب و مقادیر کم‌تر بارندگی، این معادله غالباً سطح ایستابی را خیلی کم‌تر از مقادیر واقعی برآورد کرد.

تیمار  $D_{0.65}L_{30}$  علی‌رغم این که در ظاهر باید توانایی کم‌تری از نظر زهکشی در مقایسه با تیمار  $D_{0.9}L_{30}$  داشته باشد ولی در عمل شرایط بهتری از نظر کنترل سطح ایستابی ایجاد نمود. وقوع بارندگی زیاد در دوره مطالعه (کل بارندگی در دوره نمونه‌برداری، تقریباً ۴۰ درصد بیش‌تر از مقدار متوسط طولانی مدت بارندگی منطقه در این دوره بود) را می‌توان یکی از دلایل عدم افت زیاد سطح ایستابی و در نتیجه، ناکارآمدی سیستم‌های زهکشی دارای عمق و فاصله بیش‌تر در کنترل سطح ایستابی دانست. با توجه به عمق کم‌تر زهکش‌ها در این تیمار، واکنش معادله دزو-هلینگا به بارندگی غالباً بیش‌تر از وضعیت مذکور در تیمار  $D_{0.9}L_{30}$  بود و در اکثر مواقع مقادیر سطح ایستابی خیلی بیش‌تر از مقادیر واقعی برآورد شد. این شرایط، با افزایش تکرار و مقادیر بارندگی‌ها تشدید شد به گونه‌ای که در برخی مواقع اختلاف سطح ایستابی واقعی و برآورد شده به بیش از ۶۰ سانتی‌متر رسید. برخلاف دو تیمار  $D_{0.65}L_{30}$  و  $D_{0.9}L_{30}$ ، در تیمار  $D_{0.65}L_{15}$ ، معادله دزو-هلینگا تقریباً همیشه سطح ایستابی را کم‌تر از مقدار واقعی برآورد نمود. در این تیمار، اختلاف مقادیر واقعی و برآورد شده کم‌تر از مقادیر آن در دو تیمار  $D_{0.9}L_{30}$  و  $D_{0.65}L_{30}$  بود. به طور کلی، به نظر می‌رسد که افزایش شدت زهکشی یا افزایش ضریب عکس‌العمل در این تیمار، سبب بهبود قابل توجه کارایی معادله دزو-هلینگا در برآورد سطح ایستابی شد. نتایج آزمایش‌های جعفری و

شرایط تغذیه متناوب به صورت زیر می‌باشد (Tripathi et al, 2008):

$$h_t = \frac{1}{\mu} (C_1 R_t + C_2 R_{t-1} + C_3 R_{t-2} + \dots + C_t R_1) \quad (6)$$

که در آن؛  $\mu$  تخلخل مؤثر و

$$C_1 = c_1 z$$

$$C_2 = (c_2 - c_1) z$$

$$C_t = (c_t - c_{t-1}) z$$

$$c_t = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{n^3} (1 - e^{-\frac{n^2 t}{1/\alpha}})$$

## معیارهای ارزیابی

عملکرد هر یک از معادله‌ها با استفاده از آماره‌های راندمان (Nash and Sutcliffe, 1970) (EF)، درصد خطا (PE)، ضریب تعیین ( $R^2$ )، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (Wang et al, 2006) و میانگین انحراف (AD) یا میانگین خطای مطلق (Legates and McCabe, 1999) ارزیابی شد. این آماره‌ها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$EF = \frac{\sum_1^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_1^n (P_i - O_i)^2}{\sum_1^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (7)$$

$$PE = \frac{\sum_{i=1}^n P_i - \sum_{i=1}^n O_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \times 100 \quad (8)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P}))^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (9)$$

$$SE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (10)$$

$$AD = \frac{\sum_{i=1}^n |(O_i - P_i)|}{n} \quad (11)$$

که در آن‌ها؛  $O_i$  و  $P_i$  به ترتیب مقدار مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده به‌وسیله معادله‌های مختلف در زمان  $t$ ،  $n$  تعداد مشاهده‌ها،  $\bar{O}$  متوسط مقادیر مشاهده‌ای و  $\bar{P}$  متوسط مقادیر پیش‌بینی شده در طول دوره زمانی است. بهترین مقدار EF و  $R^2$  برابر یک و برای PE، SE و

<sup>۲</sup>-Percent Error

<sup>۱</sup>-Nash-Sutcliffe Efficiency

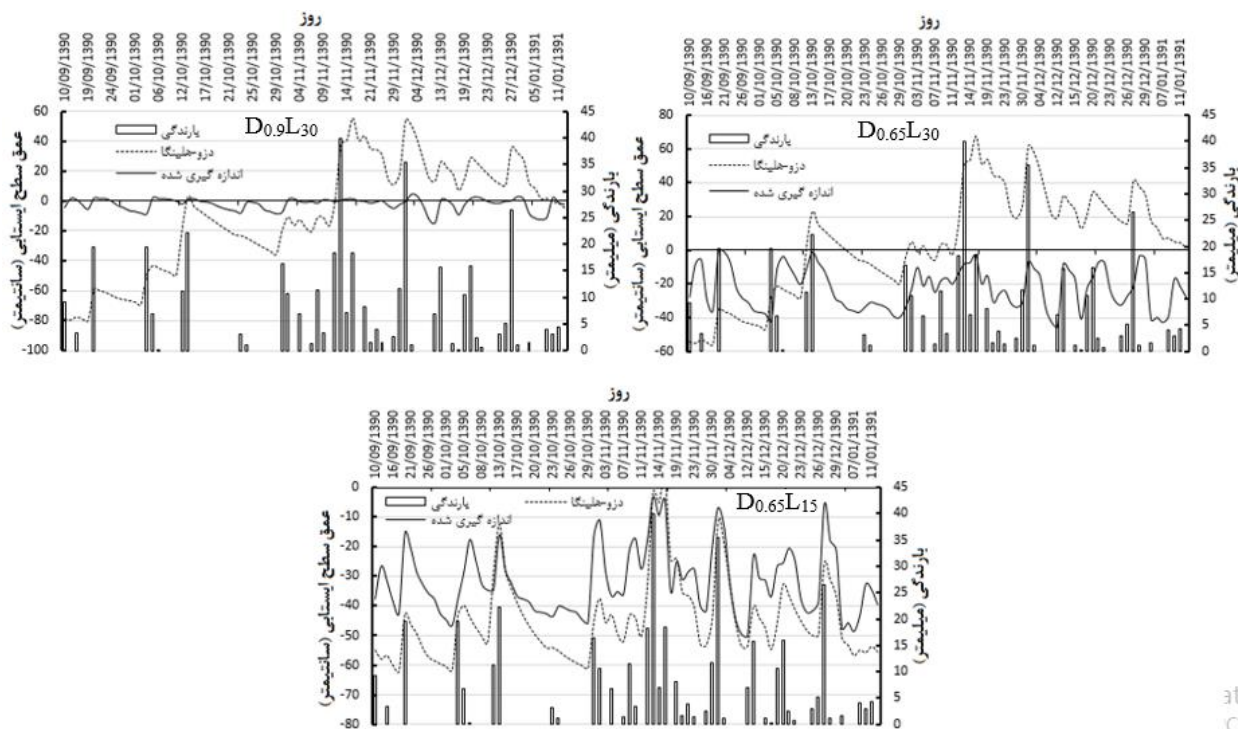
بیشترین اختلاف بین مقادیر برآورد شده و واقعی در تیمار  $D_{0.9}L_{30}$  مشاهده شد که دلیل اصلی آن ناکارایی این سیستم زهکشی در کنترل سطح ایستابی در مقایسه با دو تیمار دیگر بود. جعفری و همکاران (۱۳۹۱) نشان دادند که معادله کراجنهوف-ماسلند در شرایط خیزان، سطح ایستابی را بیش تر از مقدار واقعی برآورد نمود. در تحقیقی (Djurovic and Stricevic, 2003)، دلیل برآورد نامناسب فاصله زهکش ها به وسیله معادله کراجنهوف-ماسلند، عدم ملاحظه سایر منابع تغذیه به غیر از بارندگی و آبیاری عنوان شد.

معادله باور-وان شیلفگارد برای برآورد سطح ایستابی در دو حالت جریان از زیر زهکش ها و جریان از بالا و پایین زهکش ها مورد استفاده قرار گرفت و نتایج حاصله برای تیمارهای  $D_{0.9}L_{30}$ ،  $D_{0.65}L_{30}$  و  $D_{0.65}L_{15}$  در شکل (۳) ارائه شد. برای وضعیت جریان از بالا و پایین زهکش ها، این معادله برای هر سه تیمار عملکرد بسیار نامناسبی داشت به طوری که در کل مدت مطالعه تغییر محسوسی در مقادیر سطح ایستابی برآورد شده مشاهده نمی شود. عدم خیز سطح ایستابی، حتی پس از وقوع بارندگی های زیاد نیز مؤید نامناسب بودن شرایط حاکم در این فرم از معادله باور-وان شیلفگارد برای اراضی مورد مطالعه است.

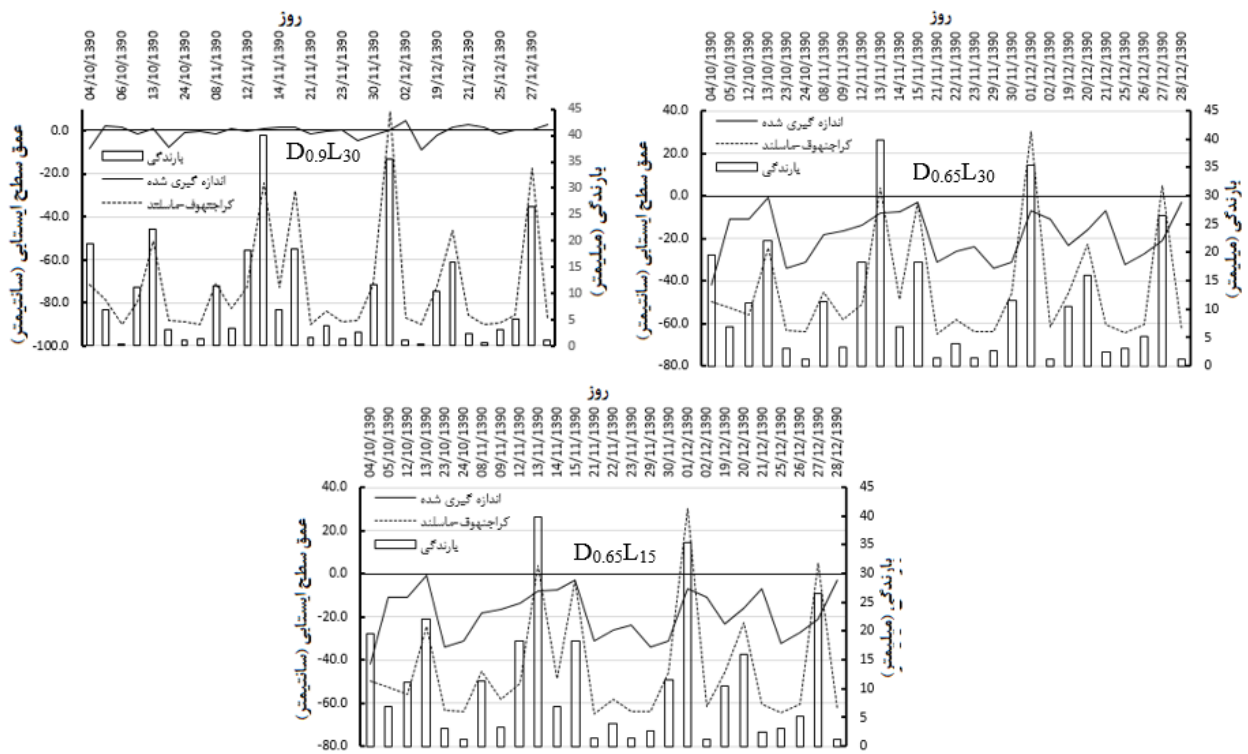
همکاران (۱۳۹۱) که در یک مدل فیزیکی آزمایشگاهی انجام شد، نشان داد که معادله دزو-هلینگا در شرایط خیزان، سطح ایستابی را کم تر از مقادیر واقعی و در شرایط افتان، برخی مواقع بیش تر و در برخی مواقع کم تر برآورد می کند. مقایسه مقادیر دبی اندازه گیری شده با مقادیر برآورد شده به وسیله معادله دزو-هلینگا (Stibinger, 2009)، نشان داد که می توان از این معادله برای برآورد دبی غیرماندگار زهکش ها در خاک های رسی استفاده کرد. همچنین، گزارش شد که این معادله برای اراضی شالیزاری کارایی بهتری در مقایسه با معادله های ماندگار و معادله باور-وان شیلفگارد دارد (Darzi-Naftchali et al., 2014).

**Error! Reference source not found.** مقادیر عمق سطح

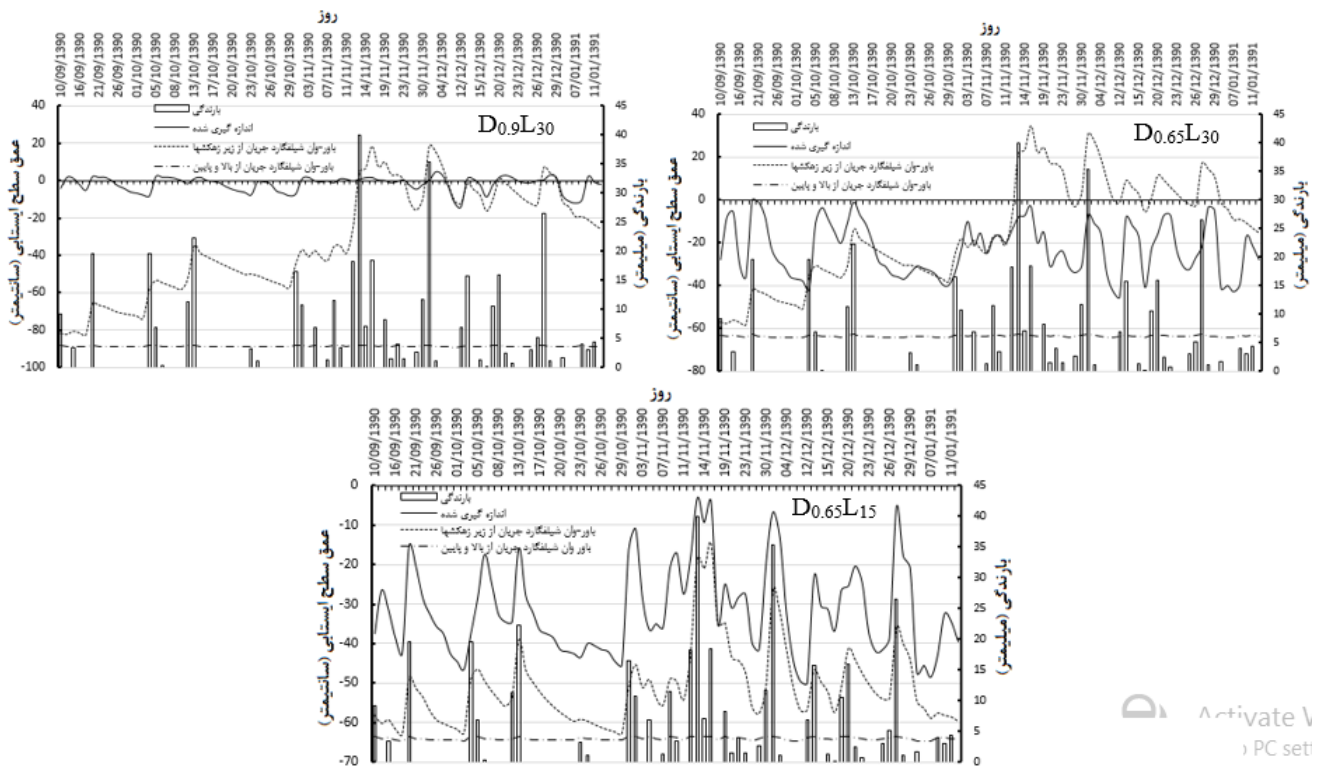
ایستابی برآورد شده به وسیله معادله کراجنهوف-ماسلند را به ترتیب برای تیمارهای  $D_{0.9}L_{30}$ ،  $D_{0.65}L_{30}$  و  $D_{0.65}L_{15}$  نشان می دهند. لازم به ذکر است که در این تحقیق از فرمی از این معادله استفاده شد که متناسب با وضعیت تغذیه غیرماندگار است. نتایج ارایه شده در شکل (۲) برای دوره های متشکل از چند روز بارندگی متوالی است. در هر سه تیمار، معادله کراجنهوف-ماسلند عمق سطح ایستابی را تقریباً همیشه کم تر از مقدار واقعی برآورد نمود. از میان تیمارهای مختلف،



شکل ۱- مقادیر عمق سطح ایستابی برآورد شده با استفاده از معادله دزو-هلینگا برای تیمارهای مختلف



شکل ۲- مقادیر عمق سطح ایستابی برآورد شده با استفاده از معادله کراچنهوف-ماسلند برای تیمارهای مختلف

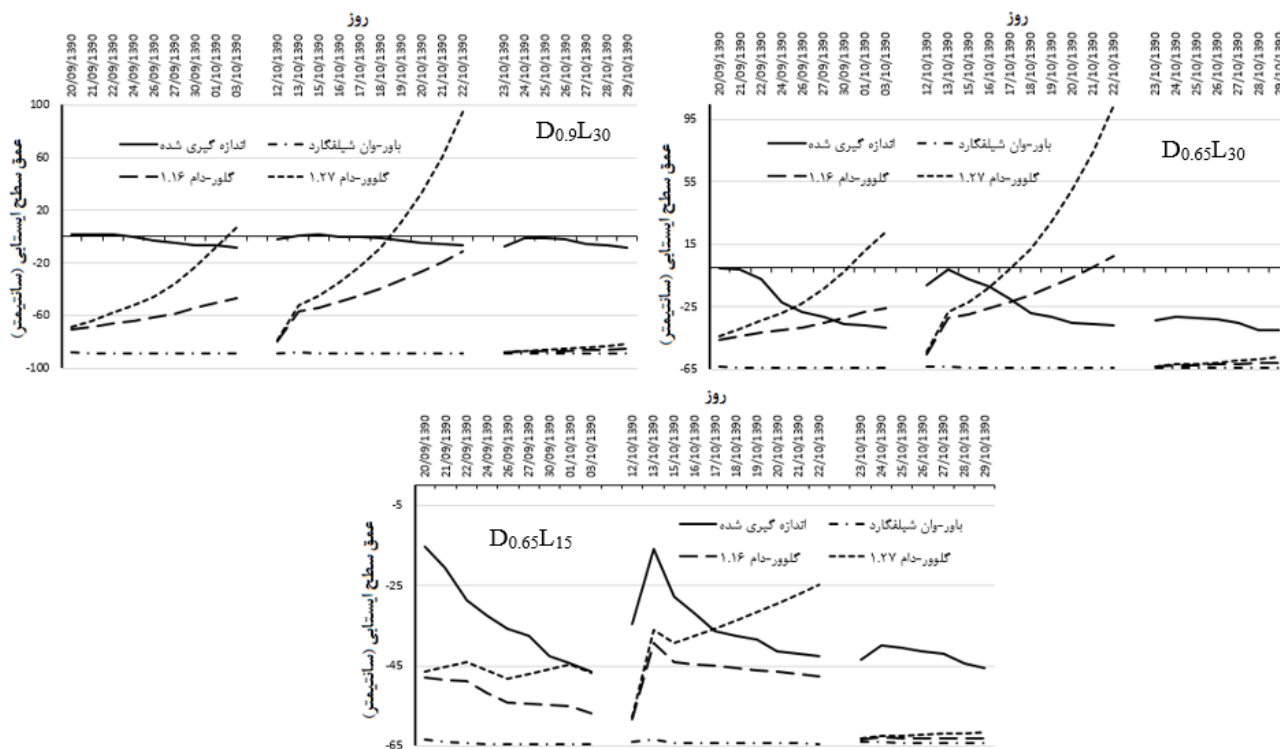


شکل ۳- مقادیر عمق سطح ایستابی برآورد شده با استفاده از معادله باور-وان شیلفگارد برای تیمارهای مختلف

از حد عمق زهکش ها منجر به برآورد بیش از حد مقادیر عمق سطح ایستابی با استفاده از این معادله خواهد شد.

با توجه به این که معادله های گلوور-دام و باور-وان شیلفگارد برای دوره های افت سطح ایستابی پس از وقوع بارندگی یا آبیاری ارایه شدند، با استفاده از این معادله ها مقادیر عمق سطح ایستابی برای سه دوره افت محاسبه شد و نتایج حاصله در شکل (۴) ارایه شد. همانند وضعیت مذکور برای کل دوره مطالعه، معادله باور-وان شیلفگارد با ملاحظه جریان از بالا و پایین زهکش ها، علی رغم پیش بینی روند افت سطح ایستابی، برآوردهای بسیار نامناسبی حاصل نمود. معادله گلوور-دام با ضریب ۱/۲۷ (با فرض سطح ایستابی اولیه تخت)، روند تغییرات سطح ایستابی را کاملاً عکس روند واقعی برآورد نمود. کاهش ضریب عکس العمل سیستم زهکشی منجر به بدتر شدن کارایی این معادله در برآوردهای سطح ایستابی شد. معادله گلوور-دام با ضریب ۱/۱۶ نیز تنها برآوردهای نسبتاً مناسبی در تیمار  $D_{0.65}L_{15}$  ارایه داد و برای دو تیمار  $D_{0.9}L_{30}$  و  $D_{0.65}L_{30}$  عملکردی مشابه دو معادله دیگر داشت. جعفری و همکاران (۱۳۹۱) نشان دادند که در شرایط افتان، معادله گلوور-دام سطح ایستابی را بیش تر از مقدار واقعی برآورد نمود.

در شرایطی که مقادیر عمق سطح ایستابی فقط با ملاحظه جریان از زیر زهکش ها برآورد شد، روند تغییرات عمق سطح ایستابی در کلیه تیمارها تا حد زیادی به روند واقعی آن نزدیک شد. با این وجود، این روند در تیمارهای  $D_{0.9}L_{30}$  و  $D_{0.65}L_{30}$  تا حدودی متفاوت بود. در ابتدای دوره مطالعه که تناوب و میزان بارندگی ها کم تر بود، در این تیمارها عمق سطح ایستابی کم تر از مقدار واقعی برآورد شد در حالی که با افزایش مقدار و تناوب بارندگی ها، عمق سطح ایستابی در تیمار  $D_{0.9}L_{30}$  تقریباً مشابه مقادیر واقعی و در تیمار  $D_{0.65}L_{30}$  بیش تر از مقادیر واقعی برآورد شد. دلیل این تفاوت، عملکرد بهتر تیمار  $D_{0.65}L_{30}$  در مقایسه با تیمار  $D_{0.9}L_{30}$  می باشد. در شرایط ملاحظه جریان از زیر زهکش ها، برای تیمار  $D_{0.65}L_{15}$ ، معادله باور-وان شیلفگارد عمق سطح ایستابی را همواره کم تر از مقادیر واقعی آن برآورد کرد. مقایسه عملکرد این معادله در تیمارهای مختلف نشان می دهد که افزایش شدت زهکشی و به تبع آن ضریب عکس العمل سیستم زهکشی تا حد مشخصی، می تواند سبب بهبود کارایی معادله باور-وان شیلفگارد در پیش بینی سطح ایستابی شود. با این حال، به نظر می رسد که کاهش بیش از حد فاصله زهکش ها یا افزایش بیش



شکل ۴- مقادیر عمق سطح ایستابی برآورد شده با استفاده از معادله های گلوور-دام و باور-وان شیلفگارد برای دوره های افت

این مقادیر نشان می‌دهد که بدون در نظر گرفتن تیمار  $D_{0.65}L_{30}$ ، معادله دزو-هلینگا کارآیی بهتری در مقایسه با معادله‌های باور-وان شیلفگارد برای کل مدت مطالعه داشت. ملاحظه آماره‌های ارزیابی نیز مؤید این وضعیت می‌باشد. صرفنظر کردن از ورود آب از روی زهکش‌ها به‌درون آن، سبب بهبود قابل توجهی در برآوردهای معادله باور-وان شیلفگارد شد.

متوسط عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده در دوره تغذیه مورد استفاده در معادله کراجنهوف-ماسلند برای تیمارهای  $D_{0.9}L_{30}$ ،  $D_{0.65}L_{30}$  و  $D_{0.65}L_{15}$  به‌ترتیب برابر  $0.06$ ،  $0.18$  و  $0.23$  سانتی‌متر بود درحالی‌که مقادیر برآورد شده به‌وسیله این معادله به‌ترتیب  $0.71$ ،  $0.44$  و  $0.45$  سانتی‌متر بود. مقایسه این مقادیر و آماره‌های ارزیابی تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که با افزایش شدت زهکشی، کارآیی معادله کراجنهوف ماسلند بهبود یافت.

در جدول (۲) متوسط مقادیر عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری و برآورد شده و آماره‌های ارزیابی معادله‌های مختلف ارائه شد. با توجه به ماهیت توسعه معادله‌های مختلف، هر یک از معادله‌ها تحت شرایط مختلف مورد استفاده قرار گرفتند. معادله‌های باور-وان شیلفگارد یک‌بار برای کل دوره مطالعه و یک‌بار برای شرایط افت سطح ایستابی استفاده شدند. معادله دزو-هلینگا برای کل دوره مطالعه، معادله کراجنهوف-ماسلند برای دوره خیز سطح ایستابی و معادله گلوور-دام برای سه دوره مختلف افت سطح ایستابی به‌کار برده شد. در کل مدت مطالعه، میانگین عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده در تیمارهای  $D_{0.9}L_{30}$ ،  $D_{0.65}L_{30}$  و  $D_{0.65}L_{15}$  به‌ترتیب برابر  $2$ ،  $22/8$  و  $31/7$  سانتی‌متر بود در حالی‌که مقادیر متناظر به‌دست آمده از معادله‌های باور-وان شیلفگارد با ملاحظه جریان از بالا و پایین، باور-وان شیلفگارد با ملاحظه فقط جریان از پایین و دزو-هلینگا به‌ترتیب  $8/8$ ،  $63/7$  و  $64/1$ ؛  $32/3$ ،  $15/3$  و  $15/1$ ؛  $9/8$ ،  $4/2$  و  $44/5$  بود. مقایسه

جدول ۲- متوسط مقادیر عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری و برآورد شده (سانتی‌متر) و آماره‌های ارزیابی معادله‌ها

معادله	تیمار	اندازه‌گیری	برآورد شده	PE	EF	R <sup>2</sup>	SE	AD
باور-وان شیلفگارد از بالا و پایین	$D_{0.9}L_{30}$	۲	۸۸/۸	-۴۴۱۸	-۴۵۵	۰/۱۱	۸۷	۸۶/۸
	$D_{0.65}L_{15}$	۲۲/۸	۶۳/۷	-۱۷۹	-۱۰/۷	۰/۲۱	۴۲/۷	۴۰/۹
	$D_{0.65}L_{30}$	۳۱/۷	۶۴/۱	-۱۰۲	-۸/۱	۰/۵	۳۴/۳	۳۲/۴
باور-وان شیلفگارد از پایین	$D_{0.9}L_{30}$	۲	۳۲/۳	-۱۵۴۴	-۱۰۲	۰/۰۳	۴۱/۲	۳۲/۵
	$D_{0.65}L_{30}$	۲۲/۸	۱۵/۳	۳۲/۸	-۳/۲	۰/۰۴	۲۵/۷	۲۱/۲
	$D_{0.65}L_{15}$	۳۱/۷	۵۱/۱	-۶۱/۳	-۲/۳	۰/۶۳	۲۰/۶	۱۹/۴
دزو-هلینگا	$D_{0.9}L_{30}$	۲	۹/۸	-۳۹۹	-۸۰	۰/۰۳	۳۶/۷	۳۰/۴
	$D_{0.65}L_{30}$	۲۲/۸	۴/۲	۱۱۸	-۹/۸	۰/۰۴	۴۱	۳۶/۳
	$D_{0.65}L_{15}$	۳۱/۷	۴۴/۵	-۴۰	-۰/۹	۰/۵۸	۱۵/۶	۱۳/۶
کراجنهوف ماسلند	$D_{0.9}L_{30}$	۰/۶	۷۱/۸	-۱۲۰۶۳	-۵۶۲	۰/۰۲	۷۵/۴	۷۱/۸
	$D_{0.65}L_{30}$	۱۸/۹	۴۴/۳	-۱۳۵	-۸/۱	۰/۱۹	۳۴/۳	۳۱/۲
	$D_{0.65}L_{15}$	۲۳/۷	۴۵/۸	-۹۳	-۴/۲	۰/۴۸	۲۷/۹	۲۷/۷
باور-وان شیلفگارد از بالا و پایین (افت)	$D_{0.9}L_{30}$	۲/۹۳	۶۱/۸	-۲۰۰۹	-۳۲۷	۰/۲۳	۶۱/۲	۵۸/۹
	$D_{0.65}L_{30}$	۲۵/۶	۶۴	-۱۵۰	-۸/۵	۰/۵۹	۴۰/۵	۳۸/۴
	$D_{0.65}L_{15}$	۳۶/۵	۶۴/۳	-۷۶	-۱۰/۶	۰/۵۴	۲۹	۲۷/۸
گلوور-دام با ضریب ۱/۲۷ (افت)	$D_{0.9}L_{30}$	۲/۹۳	۳۷/۹	-۱۱۹۴	-۳۱۴	۰/۰۹	۶۰	۵۳
	$D_{0.65}L_{30}$	۲۵/۶	۱۶/۲	۳۶/۷	-۱۳	۰/۰۷	۴۹/۶	۳۸/۴
	$D_{0.65}L_{15}$	۳۶/۵	۴۶/۳	-۲۶/۷	-۲/۷	۰/۰۵	۱۶/۳	۱۴/۱
گلوور-دام با ضریب ۱/۱۶ (افت)	$D_{0.9}L_{30}$	۲/۹۳	۶۰	۱۹۴۹	۳۳۰	۰/۰۱	۶۱/۴	۵۷/۱
	$D_{0.65}L_{30}$	۲۵/۶	۳۶/۷	۴۳/۸	-۳/۳	۰/۰۰۲	۲۷/۱	۲۳/۹
	$D_{0.65}L_{15}$	۳۶/۵	۵۳	-۴۵/۲	-۳/۵	۰/۳۵	۱۸	۱۶/۵

در شرایط افت سطح ایستابی، متوسط مقادیر عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده برای تیمارهای  $D_{0.9}L_{30}$ ،  $D_{0.65}L_{30}$  و



اندازه گیری و برآورد تراز سطح ایستابی و میزان تخلیه زهکشی در جریان غیرماندگار. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. سال سوم ۱۱: ۱۱۵-۱۲۵.

جوهردشتی، م. و اصفهانی، م. ۱۳۸۱. برنج دیم (ترجمه). نشر علوم کشاورزی، ۱۲۸ ص.

درزی، ع.، میرلطیفی، س.م.، شاهنظری، ع.، اجالالی، ف. و مهدیان، م.ح. ۱۳۹۱. تأثیر زهکشی سطحی و زیرزمینی بر تلفات فسفر از اراضی شالیزاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۳: ۶: ۲۲۵-۲۱۵.

درزی، ع.، میرلطیفی، س.م.، شاهنظری، ع.، اجالالی، ف. و مهدیان، م.ح. ۱۳۹۲. تأثیر زهکشی سطحی و زیرزمینی بر تلفات نیتروژن از اراضی شالیزاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۳: ۷: ۳۰۵-۲۹۴.

علیزاده، ا.، ۱۳۸۲. زهکشی اراضی، طرح و برنامه ریزی سیستم های زهکشی در کشاورزی. چاپ پنجم، انتشارات آستان قدس رضوی، ۴۴۸ ص.

کریمی، و. ۱۳۸۷. مدیریت آب در دوره گل آب کردن اراضی شالیزاری. مجموعه مقالات دومین کنفرانس راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه های آبیاری سطحی.

وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۹. آمارنامه کشاورزی (جلد اول): محصولات زراعی، سال زراعی ۸۸-۱۳۸۸.

Darzi- Naftchali, A., Mirlatifi, S.M and Asgari, A. 2014. Comparison of steady and unsteady state drainage equations for determination of subsurface drain spacing in paddy fields- A case study in Northern Iran. Paddy and Water Environment. 12:103-111.

Darzi- Naftchali, A., Mirlatifi, S.M., Shahnazari, A., Ejlali, F and Mahdian, M.H., 2013. Effect of subsurface drainage on water balance and water table in poorly drained paddy fields. Agricultural Water Management, 130: 61- 68.

Darzi- Naftchali, A and Shahnazari, A. 2014. Influence of Subsurface drainage on the productivity of poorly drained paddy fields. Europ. Journal of Agronomy. 56: 1-8.

Djurovic, N and Stricevic, R. 2003. Application of Krajinhoff van de Leur- Massland's method in drainage. Journal of Agricultural Sciences. 48.2: 159-170.

Guerra, L.C., Bhuiyan, S.I., Tuong, T.P and Tuong, R. 1998. Producing more rice with less water. SWIM Paper 5. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

Halbac-Cotoara, R. 2009. Results obtained in drainage arrangements designed by using drain space application. Research Journal of Agricultural Science. 41.1:426-431.

Kahlown, M.A and Khan, A.D. 2004. Tile drainage manual, Pakistan council of research in water

0.65L15 به ترتیب ۲/۹۳، ۲۵/۶ و ۳۶/۵ بود. مقایسه مقادیر عمق سطح ایستابی اندازه گیری شده و برآورد شده برای این شرایط نشان می دهد که معادله باور-وان شلیفگارد عملکرد مناسبی نداشت. همچنین، معادله گلوور-دام با ضریب ۱/۲۷ کارایی نسبتاً مشابهی با معادله گلوور-دام با ضریب ۱/۱۶ داشت. با این وجود، همان طور که در شکل (۴) مشاهده شد، این معادله ها روند تغییرات سطح ایستابی در دوره های افت را مناسب پیش بینی نکردند.

## نتیجه گیری

مقایسه مقادیر عمق سطح ایستابی اندازه گیری شده با مقادیر برآورد شده به وسیله برخی از معادله های غیرماندگار زهکشی نشان داد که معادله های دزو-هلینگا و باور-وان شلیفگارد بدون در نظر گرفتن جریان از بالای زهکش ها، روند تغییرات عمق سطح ایستابی را به خوبی برآورد کردند. افزایش تناوب و میزان بارندگی، باعث افزایش خطای معادله دزو-هلینگا در برآورد مقادیر عمق سطح ایستابی برای تیمارهای  $D_{0.9}L_{30}$  و  $D_{0.65}L_{30}$  شد. همچنین، افزایش شدت زهکشی یا ضریب عکس العمل سیستم زهکشی تا حد معینی، سبب بهبود قابل توجه عملکرد معادله های دزو-هلینگا و باور-وان شلیفگارد بدون ملاحظه جریان از روی زهکش ها شد. معادله کراجنهوف-ماسلند تقریباً همیشه عمق سطح ایستابی را کم تر از مقادیر واقعی برآورد کرد و معادله های که فقط برای وضعیت افت سطح ایستابی استفاده شدند، کارایی نامناسبی در برآورد سطح ایستابی داشتند.

## سپاسگزاری

مؤلفان از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به دلیل به دلیل مساعدت های مالی، کمال تشکر را دارند.

## منابع

بانک کشاورزی (اداره کل مطالعات و بررسی های اقتصادی)، ۱۳۸۸. خلاصه سیمای آب و هوا، اقلیم و منابع آب استان مازندران، ۱۱ ص.

بانک کشاورزی (اداره کل مطالعات و بررسی های اقتصادی)، ۱۳۸۹. وضعیت بخش کشاورزی در استان مازندران، ۴۲ ص.

بای بوردی، م.، ۱۳۷۸. اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک. چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۴۱ ص.

بخت فیروز، ع.، ۱۳۹۰. بررسی اثر سامانه های زهکشی بر گسیل گاز متان و دی اکسید کربن از شالیزارها. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۵۰ ص.

جعفری، ج.، ناظمی، ا.ح.، اشرف صدرالدینی، س.ع. و افروزی، ع. ۱۳۹۱.

1999. Subsurface drainage of a three layered soil with slowly permeable top layer. *Agricultural Water Management*. 42: 97-109.
- Stibinger, J. 2009. Terrain experimental measurement of saturated hydraulic conductivity on paddy fields in Taoyuan (Taiwan) during the cycling of flooded period. *Agriculturatropicaetsubtropica*, 42 (2): 82-89.
- Tripathi, V.K. Gupta, S.K and Kumar, P. 2008. Performance Evaluation of Subsurface Drainage System with the Strategy to Reuse and Disposal of its Effluent for Arid Region of India. *Journal of Agriculture. Physics*. 8: 43-50.
- Wang, X., Mosley, C.T., Frankenberger, J.R and Klavivko, E.J. 2006. Subsurface drain flow and crop yield predictions for different drain spacings using DRAINMOD. *Agricultural Water Management*, 79: 113-136.
- resources. 145 p.
- Kumar, R., Bhakar, S.R and Singh, P.K. 2013. Evaluation of hydraulics characteristics and management strategies of subsurface drainage system in Indira Gandhi Canal Command. *Agriculture Engineering International: CIGR Journal*. 15 .2: 1-9. Open access at <http://www.cigrjournal.org>.
- Legates, D.R and McCabe, G.J. 1999. Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research*. 35: 233-241.
- Nash, J.E and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*. 10: 282-290.
- Ritzema, H.P. 1994. Subsurface flows to drains. In: Ritzema H.P. *Drainage principles and applications* ILRI Publ. 16, Wageningen, The Netherlands: 283-294.
- Singh, P.K., Singh, O.P., Jaiswal, C.S and Chauhan, H.S.

## Assessment of Unsteady- State Drainage Equations to Determine the Spacing of Subsurface Drains in Paddy Fields

A. Darzi-Naftchali\*<sup>۱</sup>, A. Shahnazari<sup>۲</sup>

Received: Feb.21, 2015

Accepted: Aug.05, 2015

### Abstract

Subsurface drainage is required to eliminate drainage problems and to provide year-round cropping conditions in large areas of the Northern Iran spaddy fields. With regard to the specific characteristics of these fields such as presence of hard layer of clay at shallow depth and high rainfall in the wet seasons, using an appropriate equation is important for the design of subsurface drainage systems. In this research, the applicability of four unsteady- state drainage equations including Glover–Dumm, Van-Shilfgard, Dezeeuw– Hellinga, and Kraijenhoff– Maasland was evaluated to determine subsurface drain spacing in paddy fields. Measurement of water table depth was made daily during a canola growing season, from November 2011 to April 2012, in different treatments of subsurface drainage pilot of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Performance of each equation was evaluated using the statistics including efficiency (EF), percent error (PE), coefficient of determination ( $R^2$ ), root mean square error (RMSE) and mean deviation (AD). Among different equations, the Dezeeuw– Hellinga was the best equation for estimating water table depth during the study period.

**Keywords:** Paddy field, Water table depth, Canola, Drainage equations.

---

1- Assistant professor, Water Engineering Department., Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University  
2- Associate professor, Water Engineering Department., Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University  
(\*-Corresponding Author Email: [abdullahdarzi@yahoo.com](mailto:abdullahdarzi@yahoo.com))