

## معرفی مدل توزیعی RASAM-d به منظور محاسبه سهم رواناب و زهاب در سیستم-

### های زهکشی با در نظر گرفتن مفهوم جدید Run-On

زینب میرزایی<sup>۱</sup>، روح الله فتاحی<sup>۲\*</sup>، خدیار عبدالهی<sup>۳</sup>، آذرخش عزیززی<sup>۴</sup>، علی مختاران<sup>۵</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۱۰/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۰

مقاله: پژوهشی

#### چکیده

از آنجایی که امکان اندازه گیری تمامی داده‌های مورد نیاز حوضه‌های آبریز برای مدل‌های بارش رواناب میسر نمی‌باشد، لذا انتخاب مدلی که بتواند در عین سادگی ساختار با استفاده از حداقل داده‌های ورودی، هیدروگراف خروجی را با دقت مورد نظر ارائه کند، امری ضروری است. در این تحقیق مدل آنالوگ هیدرولوژی توزیعی RASAM بر پایه مطابقت مدارهای الکتریکی با معادلات هیدرولوژی و به منظور کاربرد مدل در برآورد سهم جریان سطحی و زیرزمینی در زمین‌های زراعی و محاسبه هیدروگراف زهکش‌های زیرزمینی بست داده شد و مدل آنالوگ RASAM-d1 معرفی گردید و به منظور لحاظ نمودن مفهوم جدید Run-On مدل آنالوگ توزیعی RASAM\_d2 توسعه یافت. مدل جدید RASAM-d1 به منظور برآورد هیدروگراف رواناب سطحی برای حوضه Open Book اجرا گردید و به منظور برآورد دبی زهکش‌های زیرزمینی برای مزرعه F30-1 در شهرستان میاناب به کار برده شد. در این مطالعه برای اولین بار مفهوم جدید Run-On برای زمین‌های کشاورزی مطرح گردید. محاسبات مربوط به اضافه نمودن مفهوم جدید Run-On به مدل RASAM-d1 انجام پذیرفت و مدل RASAM\_d2 برای ۲ رخداد بارندگی P<sub>1</sub> و P<sub>2</sub> توسعه و اجرا گردید و نهایتاً برای هر ۲ واقعه بارندگی صحت سنجی گردید و شاخص‌های آماری *NS*، *RMSE* و *MRE* برای مدل RASAM\_d2 به ترتیب اعداد ۰/۱۳، ۰/۱۱، ۰/۹۵، ۰/۶۸، ۰/۸۹ و ۶/۴ برای ۲ واقعه بارندگی به دست آمد. طبق نتایج با اضافه نمودن مفهوم جدید Run-On مدل توزیعی RASAM\_d2 با دقت بسیار بالاتری هیدروگراف زهکش‌های زیرزمینی را برآورد نمود. با لحاظ نمودن این مفهوم سهم تغذیه جریان زیرزمینی از میزان بارندگی با دقت بالاتری برآورد گردید. نتایج کاربرد این مدل طی دو مثال نشان داد این مدل توزیعی جدید قادر به شبیه‌سازی فرایند تبدیل بارش به رواناب سطحی و تغذیه عمقی زهکش‌های زیر زمینی می‌باشد. لذا با بکارگیری این مدل می‌توان انتظار داشت ابعاد سازه‌های آبی و زهکش‌های زیرزمینی با دقت بالاتری طراحی گردد و سیستم‌های زهکشی که به مرحله اجرا در می‌آید با کارایی بالاتری مورد بهره برداری قرار گیرد. **واژه‌های کلیدی:** شبیه‌سازی، مدل بارش رواناب، مدل آنالوگ، مفهوم Run-On، برآورد سهم جریان سطحی و زیرزمینی

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران، ۰۹۱۳۳۶۶۳۲۷۱، (z\_mirzaie\_iut@yahoo.com)

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران، (fattahi@sku.ac.ir & fatahi2@gmail.com) (نویسنده مسئول)

<sup>۳</sup> استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران، (abdollahikh@gmail.com)

<sup>۴</sup> مربی پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران، (a.azizy@yahoo.com)

<sup>۵</sup> استادیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران، (alimokhtaran@gmail.com)



## مقدمه

هیدروگراف همبستگی معکوس داشت و این نتیجه پیشنهاد شد که زمان پاسخ سریع به دلیل افزایش جریان در منافذ درشت تحت بارندگی با شدت بالا می‌باشد.

از آنجایی که در حوضه‌های آبریز امکان اندازه‌گیری تمام کمیت‌های مورد نیاز جهت بررسی عکس‌العمل حوضه میسر نمی‌باشد، لذا انتخاب مدلی که بتواند در عین سادگی ساختار و با استفاده از حداقل اطلاعات ورودی، پیش‌بینی با دقت مورد نظر را ارائه کند، امری ضروری است (شریفی و همکاران، ۱۳۸۳). مدل‌های بارش-رواناب ابزار مهم مورد استفاده در هیدرولوژی هستند که کاربران را قادر به پیش‌بینی رواناب حاصل از بارش در حوزه آبخیز می‌نمایند (Traore et al., 2014). مدل‌های هیدرولوژیکی که در دهه‌های اخیر ارائه شده‌اند سعی در ساده‌تر کردن رفتار سامانه‌های طبیعی داشته‌اند (Kumar, 2011). انتخاب یک مدل مناسب وابسته به عامل‌هایی از قبیل توانایی شبیه‌سازی متغیرهای طراحی (رواناب سطحی، آب‌های زیرزمینی، بار رسوب و غیره)، دقت و داده‌های در دسترس است و باید به گونه‌ای باشد که فرایندهای هیدرولوژی داخل حوضه را به خوبی ثبت کند و قدرت پیش‌بینی بالایی داشته باشد (Macmillan et al., 2010). مدل‌های هیدرولوژی حوضه آبریز به دسته‌های مختلفی اعم از مدل‌های تجربی در برابر فیزیکی، مدل‌های رویدادگرا در برابر پیوسته و مدل‌های یکپارچه در مقابل پارامتر توزیعی طبقه‌بندی می‌شوند. علیرغم پیشرفت مدل‌های کامپیوتری متعدد که هر کدام دارای معایب و مزایایی هستند (Jothityangkoon et al., 2001). استفاده از مدل آنالوگ به تنهایی و یا همراه با روش‌های مدرن نه تنها می‌تواند در فهم و درک بهتر فرایندهای هیدرولوژی شمردن واقع‌گردد. (Singh, 1995) تا کنون تلاش‌های ابتکاری جهت قیاس رفتار سیستم هیدرولوژیکی HS و سیستم‌های الکتریکی ES انجام پذیرفته است (Chow, 1964). (Collier, 1998) مدل آنالوگ REWARD را بر پایه مشابهت مدار خازن-مقاومت با پارامترهای حوزه آبریز و پروسه‌های فیزیکی گسترش داد. این مدل برای حوزه آبریز رودخانه ایرول در شمال انگلستان به صورت موفقیت‌آمیز مورد استفاده قرار گرفت. (نورانی و همکاران،

زهکشی عبارت است از جمع آوری و تخلیه آب از سطح و یا نیمرخ خاک، در مواقع لزوم و نگهداشت آب در درون نیمرخ خاک به هنگامی که گیاه بتواند از آن بعنوان آب آبیاری استفاده کند. در صورتی که زمین به طور طبیعی زهکشی نداشته باشد، استفاده از روش‌های مصنوعی زهکشی الزامی است (پذیرا، ۱۳۸۷). پیش‌بینی عملکرد سامانه‌های زهکشی در کنترل سطح ایستابی و تخلیه زه‌آب می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت این سامانه‌ها کمک فراوانی کند (مختاران و همکاران، ۱۳۹۲). زهکشی اراضی را می‌توان شاخه‌ای از علم فیزیک خاک و هیدرولوژی کاربردی دانست (نوذری و همکاران، ۱۳۹۴). یکی از جامع‌ترین مطالعات در مبحث تاثیر زهکش زیرزمینی بر اوج رواناب توسط رایبسون در سال ۱۹۹۰ انجام گرفت، او داده‌هایی از شش سایت در انگلستان را تهیه کرد و مورد آزمایش قرار داد. این سایت‌ها شامل پلات‌های دارای زهکش و بدون زهکش در مجاورت همدیگر بود. نتایج نشان داد سیستم زهکشی اوج جریان را در سایت‌های با خاک سیلتی و رسی کاهش داد و برای سایت‌های با خاک شنی افزایش داد. دلیل این پدیده را به این صورت شرح داد که در شرایط عدم زهکشی، نفوذپذیری کم در خاک‌های سیلتی و رسی به چندین مرتبه آب گرفتگی منجر شده و سبب رواناب چشمگیر گردیده است و نصب زهکش در چنین خاک‌هایی تاثیر نفوذپذیری خاک را افزایش داده است و تا حد زیادی جریان‌هایی که در سطح بودند کاهش پیدا کردند. در زمین‌های با خاک شنی، نفوذپذیری زیاد می‌باشد و تحت شرایط عدم زهکشی، نفوذ آب به داخل خاک زیاد می‌باشد و نصب سیستم زهکش زیرزمینی در این زمین‌ها نفوذپذیری خاک را بیشتر افزایش می‌دهد و سبب افزایش پیک جریان می‌گردد.

ویدون و کوادرا (۲۰۱۱) ۸ واقعه بارش که منجر به تولید جریان در زهکش‌های زیرزمینی شد را در یک زمین با خاک سیلتی لومی مورد بررسی قرار دادند آن‌ها به این نتیجه رسیدند که بین بارش و سطح ایستابی با میانگین و حداکثر جریان و شدت رواناب در زهکش‌های زیرزمینی همبستگی بالایی وجود داشت. شدت بارش حداکثر با زمان پاسخ

از رواناب واحد سطح در پنج سرایشی که اندازه آن‌ها از ۰/۵ تا ۴۵ متر مربع متغیر بود را مشاهده نمودند. (Dengfeng et al., 2012) نقش مفهوم Run-On را در جریان سطحی توسط یک مدل عددی در یک حوزه آبریز در کشور چین ارزیابی کردند. نتایج نشان داد قسمت عظیمی از جریان سطحی در طول سرایشی به درون خاک نفوذ کرد و بیش‌ترین رواناب از خاک اشباع نزدیک کانال رودخانه تولید گردید. (ثقفیان و همکاران، ۱۳۹۰) مفهوم Run-On و اثر آن را در برآورد هیدروگراف رواناب به کار گرفتند. آن‌ها از ترکیب مدل بارش-رواناب مادکلارک و برآورد عدد منحنی استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد در تمام حالات حجم و دبی رواناب حاصل با در نظر گرفتن Run-On کم تر از حالت معمول می‌باشد. (ثقفیان و همکاران، ۲۰۱۶) یک مدل ریاضی بارش-رواناب با تاثیر پدیده Run-On را گسترش دادند. آن‌ها از تلفیق روش شماره منحنی با مدل مادکلارک برای یک حوزه آبریز V شکل استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد وقتی پدیده Run-On لحاظ گردید، رواناب سطحی و دبی اوج کاهش یافت.

در این مقاله مدل آنالوگ توزیعی RASAM\_d1 به منظور برآورد سهم جریان سطحی و زیرزمینی در زمین‌های زهکشی زراعی معرفی گردیده است. این مدل در عین سادگی ساختار با استفاده از حداقل داده‌های ورودی، هیدروگراف خروجی را با دقت مورد نظر ارائه می‌کند. به منظور افزایش دقت برآورد هیدروگراف زهکش‌های زیرزمینی، مفهوم جدید Run-On در این مدل لحاظ گردیده است و مدل آنالوگ توزیعی RASAM\_d2 توسعه یافته است. این مدل توزیعی جدید قادر به شبی‌سازی فرایند تبدیل بارش به رواناب سطحی و تغذیه عمقی زهکش‌های زیر زمینی با دقت بسیار بالا می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### ساختار مدل

به منظور انجام تحقیق از مدل کامپیوتری آنالوگ بارش رواناب RASAM<sup>۳</sup> استفاده شد. این مدل در سال ۲۰۱۵

در تحقیقی به معرفی مدل آنالوگ مایع به عنوان یک مدل آنالوگ جدید در زمینه هیدرولوژی پرداختند. در این تحقیق هر عنصر تشکیل دهنده هر مدار آنالوگ مایع عبارتند از یک مخزن، یک عضو اصطکاکی و یک مخزن هد ثابت که توسط لوله‌های کوتاه و قطور که رژیم جریان در آن‌ها آرام باشد به همدیگر وصل شدند. آن‌ها از مدل آنالوگ مایع برای شبیه‌سازی آزمایشگاهی مدل ناش استفاده نمودند. نتایج حاصل موفق بودن مدل در مدلسازی را نشان داد. (Stark, 2001) یک شبکه از خازن-مقاومت غیر خطی را برای تشریح یک مدل توزیعی به منظور محاسبات فرسایش خاک استفاده نمود. (نورانی و همکاران، ۲۰۰۷) در یک شبیه‌سازی آزمایشگاهی توسط مدل آنالوگ LAM یک واقعه بارندگی را تست نمودند. نورانی و همکاران (۲۰۱۴) از مدل آنالوگ LAM به منظور مدل کردن پدیده نشت در سدها استفاده کردند. (عبدالهی و همکاران، ۲۰۱۶) مدل RASAM<sup>۱</sup> را برای حوزه آبریز Upper Tarqui در کشور اکوادور به کار بردند.

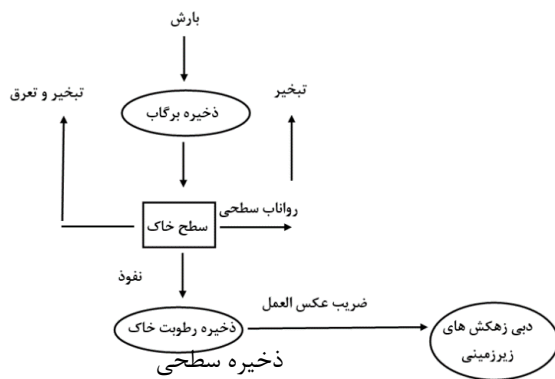
تحقیقاتی که تا کنون در خصوص مدلسازی بارش رواناب اشاره گردید، تاثیر جریان در سطح خاک و نفوذ بعدی آن را نادیده گرفتند. پدیده Run-On تحت عنوان نفوذ آب سطحی وقتی که مواجه می‌شود با مناطقی با کمبود رطوبت خاک در حالی که به سمت پایین دست حرکت می‌کند، تعریف می‌شود. (Nahar., 2004). در خصوص لحاظ نمودن مفهوم Run-On در مدل‌های بارش رواناب تاکنون تحقیقاتی انجام گرفته است. (Yair and Kossovsky, 2002) مشاهده نمودند در حالی که مساحت منطقه مورد مطالعه از ۳۶ به ۲۰۰ مترمربع در منطقه نیمه خشک افزایش یافت، ضریب رواناب از ۶٪ به ۱۱/۵٪ کاهش یافت. (Meng et al., 2008) مدل هیدرولوژیکی HIRO2<sup>۲</sup> را با در نظر گرفتن مفهوم Run-On گسترش دادند. نتایج این تحقیق تاثیر قابل توجه تاثیر مفهوم Run-On در مقدار نفوذ تجمعی در کانال‌ها را نشان داد. (Heras, 2010) در یک ایستگاه تحقیقاتی در اسپانیا با بارندگی متوسط سالیانه ۴۶۶ میلی متر، کاهش عمومی

<sup>3</sup> Rain and Snow Accumulation Model

<sup>1</sup> Rain and Snow Accumulation Model

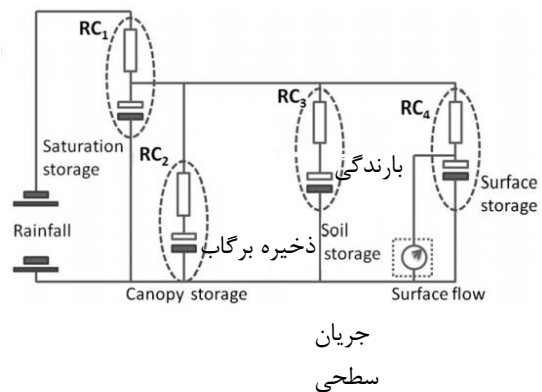
<sup>2</sup> Hortonian Infiltration and Runoff/On

یک مدار الکتریکی با ۴ مدار خازن - مقاومت متناظر شده است. بر پایه الگوی قیاسی پروسه‌های HS-ES (سیستم هیدروژی - سیستم الکتریکی)، پارامترهای شکل و مقیاس ویبول برای توصیف معادلات نهایی هیدرولوژیکی استفاده گردید. مدل RASAM از یک رویکرد شبکه‌ای به منظور شبیه‌سازی توزیع مکانی از برگاب، تبخیر و تعرق، نفوذ و رواناب سطحی استفاده می‌کند



شکل (۱): ساختار مدل RASAM\_d

توسعه داده شده است (عبداللهی و همکاران، ۲۰۱۶). در این تحقیق مدل RASAM-d1 به منظور کاربرد در محاسبات سهم جریان سطحی و زهاب در زهکش‌های زراعی توسعه داده شد. ساختار مدل RASAM\_d1 مطابق شکل (۱) می‌باشد. مطابق شکل (۲) در این مدل مولفه‌های بیلان آب با مدارهای خازن - مقاومت (RC) متناظر می‌باشد. در این تحقیق هر پیکسل از زمین زراعی شبکه‌بندی شده به عنوان



شکل (۲): مولفه‌های مدار الکتریکی در هر پیکسل. RCx خازن - مقاومت

### برگاب

برگاب مطابق معادله (۳) با استفاده از معادله آستون (Aston, 1979) محاسبه گردید. در این معادله از شاخص سطح برگ (LAI) استفاده گردیده است. در این معادله  $K_c$  پارامتری است که بیانگر درصدی از بارندگی است که بر روی کانوپی فرود می‌آید. ماکزیمم ظرفیت ذخیره کانوپی  $SI_{max}$  با استفاده از LAI محاسبه شده است.

$$Intc = \frac{1}{24} C_p SI_{max} \left(1 - e^{-\frac{24K_c P_e}{SI_{max}}}\right) \quad (3)$$

$$Kc = 0.065LAI \quad (4)$$

$$SI_{max} = 0.93 + (0.49 * LAI) - (0.0057 * LAI^2) \quad (5)$$

در مدل RASAM بیلان آب در هر پیکسل مطابق فرمول (۱) می‌باشد. که در آن  $\Delta S$  رطوبت خاک (mm)،  $P$  بارندگی (mm)،  $RC_1$  تابع متناظر تبخیر تعرق،  $RC_2$  تابع متناظر برگاب،  $RC_3$  تابع متناظر نفوذ و  $RC_4$  تابع متناظر رواناب سطحی هستند.

$$\Delta S = P - (f_1(RC_1) + f_2(RC_2) + f_3(RC_3) + f_4(RC_4)) \quad (1)$$

$$P = F_c + AET + SR + Intc \quad (2)$$

که در آن  $F_c$  نفوذ موثر (mm)،  $SR$  رواناب سطحی (mm)،  $Intc$  برگاب،  $AET$  تبخیر تعرق واقعی هستند. روابط مورد استفاده برای هر مدار الکتریکی مطابق جدول (۱) می‌باشد.

### رواناب سطحی

$$SR = P(t) \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (۶)$$

$$\varphi = F_C + I_{ntc} + AET \quad (۷)$$

رواناب سطحی بر اساس فرمول (۶) (Pedersen et al, 1980) محاسبه گردید. زمان شروع باران موثر با پارامتر  $\varphi$  مطابق فرمول (۷) کنترل گردید.

جدول (۱): معادلات مدارهای الکترونیکی

Quantity	Equation	Remarks
Current (I)      جریان	$I = \frac{q}{60 * t}$	I in (Amp), q charge in ( C ), t time in (min)
Voltage (V)      ولتاژ	$V = \frac{I}{R}$	V in (V), R resistance in ( W )
Capacitance ( C )      خازن	$C = \frac{q}{V}$	C in (F)
Energy ( E )      انرژی	$E = C \frac{v^2}{2}$	E in (J)
Time Constant ( $\tau$ )      ثابت زمانی	$\tau = \frac{RC}{60}$	$\tau$ in (min)

کرده و بخشی دیگر به صورت رواناب بر روی سطح زمین جریان می‌یابد. بدیهی است ظرفیت نفوذ خاک با افزایش زمان به شدت و تقریباً به صورت توانی نسبت به زمان نفوذ کاهش می‌یابد، به طوری که در ابتدای بارندگی ظرفیت آن حداکثر ( $f_0$ ) و در نهایت به یک مقدار ثابت ( $f_c$ ) می‌رسد (صفوی، ۱۳۸۸).

$$F_c = f_c + (f_0 - f_c)e - Kt \quad (۹)$$

### تبخیر و تعرق واقعی

تبخیر و تعرق واقعی مطابق فرمول (۱۰) (Oudin et al, 2010) بر اساس نسبت بین بارندگی  $P$  و تبخیر و تعرق پتانسیل  $ET$  محاسبه گردید.

$$AET = ET \left( 1 - e^{-\frac{P_e}{ET}} \right) \quad (۱۰)$$

که  $F_c$  عبارتست از شدت نفوذ ( $\text{mm/h}$ )،  $I_{ntc}$  برگاب ( $\text{mm/h}$ ) و  $AET$  تبخیر و تعرق واقعی ( $\text{mm/h}$ ) می‌باشد. زمان پیمایش در هر پیکسل بر اساس فرمول (۸) محاسبه گردید: (Melesse et al, 2007)

$$tl_c = 7 \left( \frac{n \times L}{I_{in}^{\frac{2}{3}} S_l^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{5}} \quad (۸)$$

$n$  عبارتست از ضریب زبری مانینگ،  $L$  طول جریان،  $S_l$  متوسط شیب جریان سطحی،  $I_{in}$  شدت بارش موثر.

### نفوذ

نفوذ با استفاده از معادله هورتن (Horton, 1933) مطابق معادله (۹) محاسبه گردید. شدت نفوذ نهایی آب در خاک را ظرفیت نفوذ گفته با  $f_c$  نشان می‌دهند. هرگاه شدت بارندگی کمتر از ظرفیت نفوذ خاک باشد، شدت نفوذ عملاً برابر با شدن بارش بوده و هیچ‌گونه روانابی بر روی زمین تشکیل نمی‌گردد. در صورتی که شدت بارش بیشتر از ظرفیت نفوذ باشد، آن‌گاه بخشی از بارش در خاک نفوذ

## تابع پاسخ

معادلات ویبول (Weibull, 1951) به منظور محاسبه فازهای شارژ و تخلیه مدارهای خازن-مقاومت طی زمان استفاده شد. این معادله به این دلیل انتخاب گردید که با توزیع پاسخ مدارهای خازن-مقاومت نزدیک می‌باشد و به دلیل اینکه تابع جرم توزیع ویبول را می‌توان مستقیماً به عنوان تابع پاسخ پیکسل قرار داد (Agarwal et al, 2003). تابع جرم توزیع ویبول دو پارامتر متغیر شکل  $a$  و مقیاس  $b$  دارد. معادله (۱۱).

$$q(t) = \frac{Vf}{60} \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} \exp\left(-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right) \quad (11)$$

## محاسبات زهکش‌های زیرزمینی

برای محاسبه دبی لاترال‌ها از فرمول دوزوهلینگا (۱۹۶۰) استفاده گردید. مطابق فرمول (۱۲) با داشتن ضریب عکس‌العمل دبی زهکش‌ها را می‌توان از روی داده‌های هواشناسی پیش‌بینی کرد. برای شرایط غیرماندگار زمان را به دوره‌های کوچک  $\Delta t$  تقسیم نموده و فرض می‌شود که در هر دوره مقدار تغذیه  $R_{\Delta t}$  که از معادله نفوذ به دست می‌آید ثابت است.

$$q_t = q_{t-1} e^{-\alpha \Delta t} + R_{\Delta t} (1 - e^{-\alpha \Delta t}) \quad (12)$$

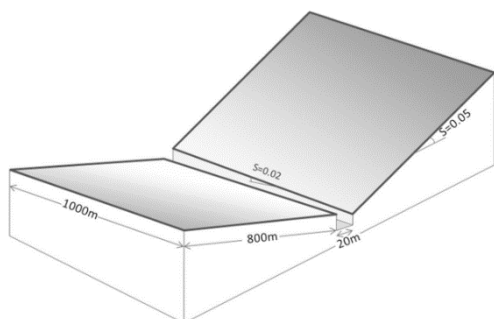
## ضریب عکس‌العمل

ضریب عکس‌العمل  $\alpha = \frac{10kd}{\mu L^2}$  شاخصی است که زمان تاخیر بین تغذیه در سطح و تبدیل آن به دبی زهکش‌های زیرزمینی را نشان می‌دهد. مقدار آن برای زمین‌هایی که عکس‌العمل آن‌ها کند است ۰/۲ تا ۰/۳ و برای زمین‌هایی که سریعاً عکس‌العمل نشان می‌دهد ۲ تا ۵ می‌باشد. ضریب عکس‌العمل از فرمول (۱۳) محاسبه می‌گردد.

$$\alpha = \frac{\ln q_{t-1} - \ln q_t}{\Delta t} \quad (13)$$

## اجرا و ارزیابی کارایی مدل

در مرحله اول مدل RASAM-d1 برای حوضه Open Book به کار برده شد، شکل (۳). یک واقعه بارندگی فرضی با زمان بارندگی  $1/\Delta h$  برای شدت بارندگی  $10 \text{ mm/h}$  شبیه‌سازی گردید. سطح حوضه و کانال میانی غیر قابل نفوذ فرض گردیدند و رواناب سطحی شبیه‌سازی گردید. در مدل RASAM-d1 مقادیر پارامترهای مقیاس و شکل حوضه به دو قسمت حین و پس از بارندگی تقسیم شد و مقادیر متفاوتی لحاظ گردید.



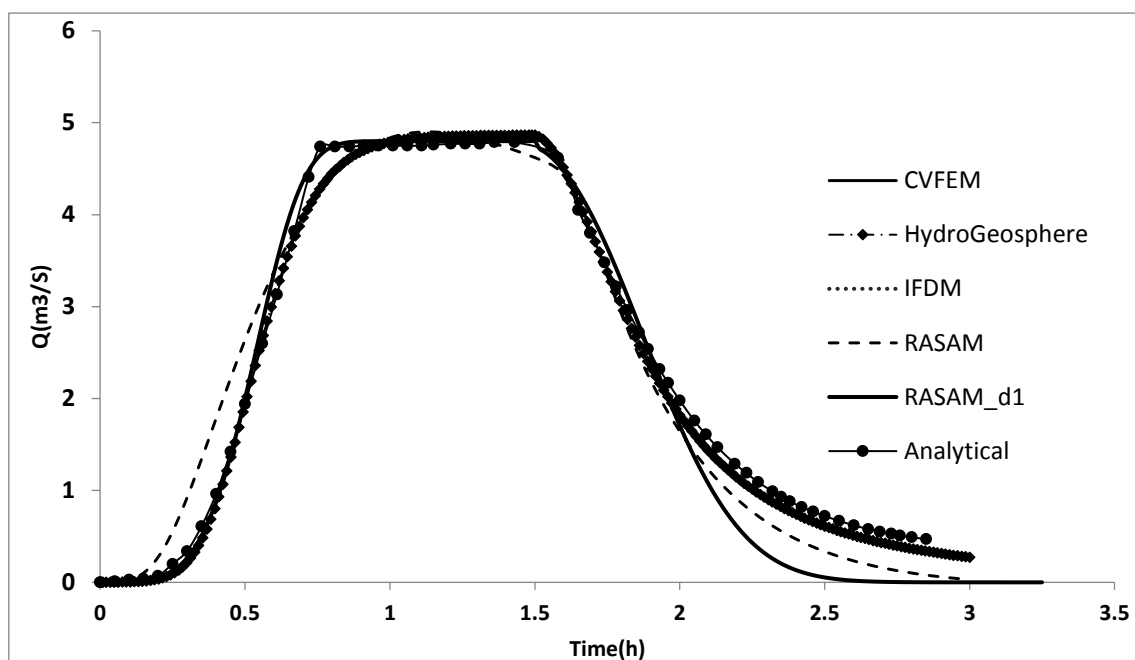
شکل (۳): مشخصات و شماتیک حوضه Open Book

نتایج شبیه‌سازی واقعه بارندگی در حوضه Open Book مطابق شکل (۴) می‌باشد. نتایج مدل RASAM-d1 با نتایج مدل‌های (Aquanty Inc. HydroGeoSphere (Di Giammarco et IFDM و CVFEM, 2013) (Shen and analytical solution.al. 1996) (Phanikumar 2010) و مدل RASAM (عبدالهی و همکاران، ۲۰۱۶) مقایسه گردید. با مقایسه هیدروگراف خروجی مدل‌های IFDM, HydroGeosph, CVFEM و مدل تحلیل‌ی مشاهده می‌گردد نتایج این مدل‌ها تطابق بسیار خوبی دارد. مدل RASAM-d1 نسبت به مدل RASAM تطابق بهتری با هیدروگراف حاصل از مدل تحلیل‌ی دارد. هیدروگراف خروجی مدل RASAM-d1 در شاخه بالارونده و اوج هیدروگراف تطابق بسیار خوبی با سایر مدل‌ها دارد و در شاخه پایین رونده مقادیر دبی کم‌تر از سایر مدل‌ها برآورد شده است.

به منظور کاربرد مدل در زمین زراعی و شبیه‌سازی هیدروگراف زهکش زیرزمینی از داده‌های مربوط به ۲ واقعه

استان خوزستان استفاده گردید (شکل ۵) (عزیزی و حسن اقلی، ۱۳۹۴).

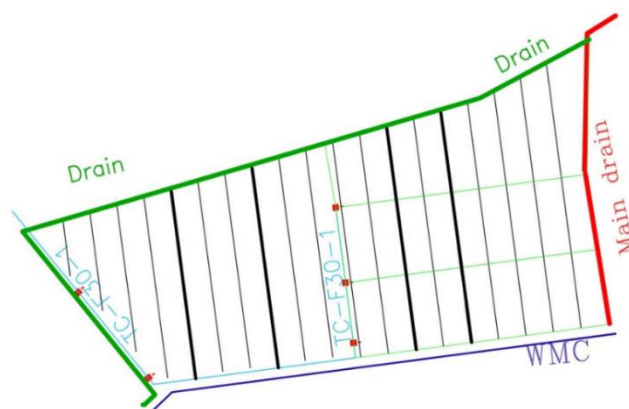
بارندگی در سال ۹۳-۹۴ در شرایط کشت زمستانه (گندم) و در محل اجرای پروژه زهکشی مزرعه F30-1 به وسعت ۴۴ هکتار در داریون ۲ و منطقه سه بنه در شهرستان میان آب



شکل (۴): نتایج شبیه‌سازی رواناب سطحی برای واقعه بارندگی فرضی با زمان ۱/۵ ساعت بر روی حوضه Open Book توسط مدل RASAM-d1 در مقایسه با چند مدل دیگر

جدول (۲): میزان بارندگی در طی دوره آماربرداری

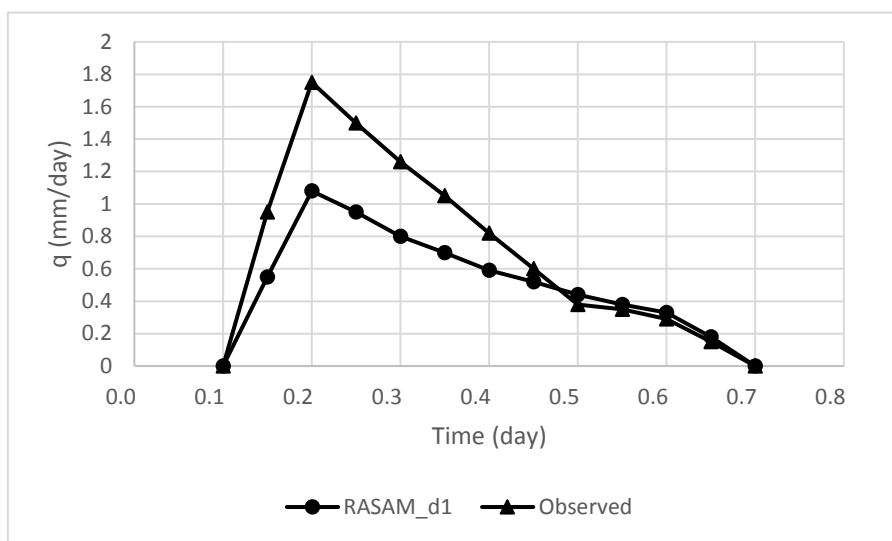
ردیف	تاریخ	رخداد	بارندگی (میلی متر)
۱	۹۳/۱۲/۰۳	P <sub>1</sub>	۱۹
۲	۹۳/۱۲/۰۴		۶٫۸
۳	۹۴/۰۱/۰۲	P <sub>2</sub>	۳۴
۴	۹۴/۰۱/۰۳		۲۸



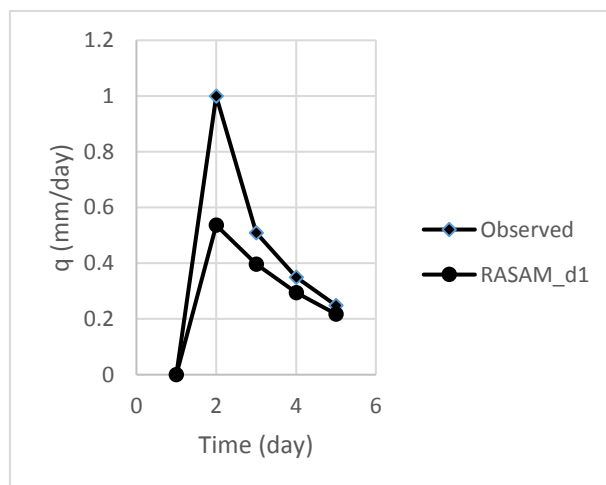
شکل (۵): شمای کلی مزرعه آزمایشی - تحقیقاتی

هیدروگراف لاترال زیرزمینی استخراج و با هیدروگراف واقعی مقایسه گردید. وقایع بارندگی در طی دوره آماربرداری مطابق جدول (۲) می‌باشد

مدل RASAM-d1 با استفاده از داده‌های مزرعه تحقیقاتی و ۲ رخداد بارندگی P<sub>1</sub> و P<sub>2</sub> (به ترتیب مربوط به بارندگی ۹۴/۰۱/۰۲ و ۹۴/۰۱/۰۳ و بارندگی ۹۳/۱۲/۰۳ و ۹۳/۱۲/۰۴) اجرا گردید و مطابق شکل (۶) و شکل (۷)



شکل (۶): نتایج شبیه‌سازی دبی لاترال زیرزمینی برای رخداد بارندگی  $P_1$  در مزرعه F30-1 در شهرستان میاناب توسط مدل RASAM-d1 در مقایسه با نتایج مشاهده شده



شکل (۷): نتایج شبیه‌سازی دبی لاترال زیرزمینی برای رخداد بارندگی  $P_2$  در مزرعه F30-1 در شهرستان میاناب توسط مدل RASAM-d1 در مقایسه با نتایج مشاهده شده

### توسعه مدل برای لحاظ نمودن Run-On

در کاربرد مدل برای حوضه Open Book و شبیه‌سازی هیدروگراف رواناب سطحی مشاهده گردید که هیدروگراف مدل RASAM-d1 نسبت به هیدروگراف مدل RASAM تطابق بهتری با سایر مدل‌ها داشت.

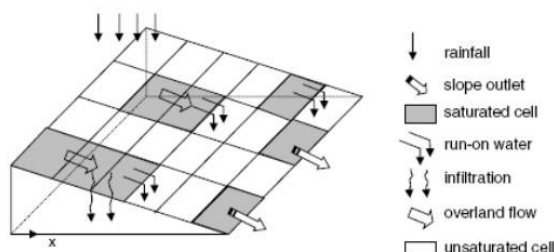
مدل RASAM-d1 هیدروگراف خروجی را با دقت خوبی در شاخه بالارونده شبیه‌سازی نموده است ولی پیک هیدروگراف و شیب شاخه پایین رونده کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده برآورد شده است.



RASAM را برای حوضه آبریز تورکی در کشور اکوادور به کار بردند نتایج این تحقیق نشان داد در چند واقعه بارندگی، پیک جریان کم برآورد گردیده است. در تحقیقی مردای و همکاران (۱۳۹۴) به شبیه‌سازی توزیعی مکانی-زمانی رواناب با استفاده از مدل WetSpa در حوضه آبخیز طالقان پرداختند. نتایج این تحقیق حاکی از کم برآوردی در دبی-های پیک می‌باشد. نتایج مشابهی در این زمینه توسط صفری و همکاران (۲۰۱۲) ارائه گردید.

در تحقیقی کواردینی و همکاران (۱۹۹۸) با بررسی توزیع مکانی نفوذ که یکی از جنبه‌های تکامل مدل هاست مفهومی جدید به نام Run-On مطرح نمودند. به طور کلی Run-On عبارتست از مقداری از رواناب که در بالادست به دلایلی مثل نفوذپذیری کم‌تر و یا شدت بالای بارش فرصت نفوذ نیافته ولی این فرصت در پایین دست برای جریان فراهم می‌شود (اسمیت و هیبرت، ۱۹۷۹). شکل (۸) می‌تواند به شناخت بهتر این مفهوم کمک کند.

مشخصات زمان رسیدن به پیک و زمان تاخیر تاثیر مستقیمی بر شاخه بالارونده هیدروگراف دارد. مطابق تحقیقات عبدالهی و همکاران (۲۰۱۶) در واقعه بارندگی با شدت یکنواخت، قبل از زمان تاخیر، حوضه جریان بارندگی را روی سطح خود ذخیره می‌کند و گرادیان شاخه بالارونده هیدروگراف به این ذخیره بستگی دارد. در مدل RASAM-d1 به دلیل اینکه ضرایب شکل و مقیاس مدل به دو حالت حین و بعد از بارندگی تقسیم شدند و برای این دو حالت مقادیر متفاوتی در نظر گرفته شد، هیدروگراف خروجی تطابق بهتری با نتایج هیدروگراف سایر مدل‌ها دارد. در مورد بعدی این مدل برای مزرعه F30-1 واقع در میاناب خوزستان اجرا گردید. مطابق هیدروگراف خروجی مدل RASAM-d1 هیدروگراف خروجی را با دقت خوبی در شاخه بالارونده شبیه‌سازی نموده است ولی پیک هیدروگراف و شاخه پایین رونده کم برآورد شده است. در تحقیقی مشابه عبدالهی و همکاران (۲۰۱۶) مدل



شکل (۸): نمایی شماتیک از مکانیسم‌های جریان که در اراضی دامنه‌ای اتفاق می‌افتد با در نظر گرفتن مفهوم Run-On (کواردینی و همکاران، ۱۹۹۸)

وارد بر آن باشد و از طرف دیگر طول این زمان رواناب بالادست نیز وجود داشته باشد. به طور کلی اثر Run-On زمانی قابل توجه می‌شود که چیدمان سلول‌ها از نظر خصوصیات نفوذپذیری به گونه‌ای باشد که در آن بتوان زوج سلول‌های مجاور زیادی را پیدا کرد به نحوی که از نظر خصوصیات نفوذپذیری اختلاف نسبتاً بارزی داشته باشند و سلول با ظرفیت نفوذپذیری بیشتر در پایین دست سلول با ظرفیت نفوذپذیری کم‌تر قرار گرفته باشد. این ساختار را می‌توان در دامنه‌هایی که در آن‌ها ظرفیت نفوذپذیری از

بر اساس شکل (۷) زمانی که یک سلول به حالت اشباع می‌رسد و در نتیجه از آن زمان به بعد تا زمانی که بارش روی سطح این سلول ادامه دارد رواناب تولید می‌گردد، رواناب ناشی از آن به سلول پایین دست مجاور منتقل می‌شود. اگر ظرفیت نفوذ سلول پایین دست به آن این اجازه را بدهد این سلول از رواناب رسیده می‌تواند به عنوان منبع جدیدی برای نفوذ استفاده کند و این رواناب را تبدیل به نفوذ کند. این شرایط زمانی فراهم می‌شود که از طرفی ظرفیت نفوذپذیری سلول بیشتر از میزان بارش مستقیم

نادیده گرفتند. وقتی که جریانی که به صورت سطحی بر روی سراسیبه حرکت می‌کند، پروسه Run-On نمود می‌یابد، پدیده‌ای که اغلب در مطالعات بارش رواناب نادیده گرفته شده است. در این موارد آب موجود برای نفوذ شامل بارندگی و جریان آب رسیده از مناطق بالادست می‌باشد (کورادینی و همکاران ۱۹۹۸).

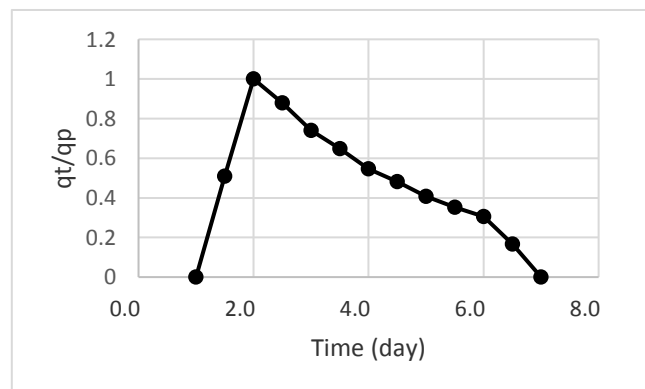
به منظور محاسبه سهم مفهوم Run-On و افزایش دقت مدل توزیعی RASAM-d1 ابتدا هیدروگراف حاصل از شبیه‌سازی مربوط به بارندگی ۹۴/۰۱/۰۲ و ۹۴/۰۱/۰۳ مطابق شکل (۸) به صورت یک بعدی توزیعی رسم گردید، سپس سطح زیر منحنی هیدروگراف شبیه‌سازی و هیدروگراف مشاهده شده مربوط به شکل (۵) محاسبه گردید و اختلاف این دو سطح مطابق فرمول (۱۴)، ضریب  $\Delta$  نامیده شد، همچنین اختلاف سطح زیر منحنی هیدروگراف شبیه‌سازی و هیدروگراف مشاهده شده در هر بازه زمانی  $\Delta t$  نامیده شد. از حاصل تقسیم  $\Delta t$  به سهم اختلاف نسبی در هر بازه زمانی محاسبه گردید و این مقدار  $\alpha$  نامیده شد (معادله ۱۴).

بالادست به پایین دست روند افزایشی دارد یافت. به بیان دیگر چنین می‌توان گفت که میزان Run-On در هر نقطه میزان آب نفوذ یافته‌ای است که ناشی از بارش مستقیم بر آن نقطه نبوده است، بلکه ناشی از رواناب ایجاد شده در نقاط بالادست آن نقطه است. با توجه به این قضیه امکان اندازه‌گیری مستقیم و دقیق Run-On حتی در شرایط آزمایشگاهی وجود ندارد (نوروزپور، ۱۳۹۲).

### نتایج و بحث

در راستای تدقیق مدل‌های بارش - رواناب، مفهوم روانش وارد فرایند بارش - رواناب گردید. به طور کلی روانش عبارت است از مقداری از رواناب که در بالادست به دلایلی مختلف از قبیل نفوذپذیری کمتر و یا شدت بالای بارش فرصت نفوذ نیافته ولی ممکن است این فرصت در پایین دست برای جریان فراهم گردد (ثقفیان و همکاران، ۱۳۹۰).

تمام تحقیقاتی که تاکنون در خصوص تعیین دبی زهکش سطحی و زیرزمینی انجام پذیرفته است، تاثیر تولید جریان در مرز سطحی خاک و نفوذ آن در مراحل بعدی را



شکل (۹): هیدروگراف یک بعدی توزیعی شبیه‌سازی توسط مدل RASAM-d1 برای رخداد بارندگی P1 در مزرعه F30-1 در شهرستان میاناب

$$\Delta = (\text{The area below the observed hydrograph}) - (\text{The area below the simulated hydrograph}) \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{\Delta t}{\Delta} \quad (15)$$

فرمول (۱۶) محاسبه گردید که  $\delta t$  بازه زمانی می‌باشد. سپس برای هر بازه زمانی و هر نسبت  $qt/qp$  ضریب  $r$  در

سپس برای هر بازه زمانی و برای هر نسبت  $qt/qp$  که مطابق شکل (۱۰) می‌باشد، سهم مفهوم Run-On مطابق

که مدل RASAM-d2 که مفهوم جدید Run-On را لحاظ نموده است دقت بالاتری در برآورد دبی زهکش‌های زیرزمینی داشته است.

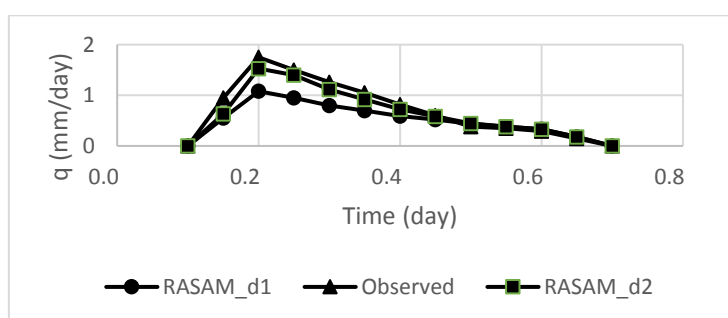
به منظور صحت‌سنجی محاسبات انجام شده، هیدروگراف خروجی شبیه‌سازی شده توسط مدل RASAM-d1 برای رخداد بارندگی  $P_1$  نیز بی‌بعد گردید و ضریب سهم Run-On که برای هر نسبت ضریب بدون بعد  $qt/q_p$  در مرحله قبل محاسبه شده بود مطابق با نسبت ضریب بدون بعد  $qt/q_p$  برای رخداد بارندگی  $P_2$  ضرب گردید و مدل برای این واقعه بارندگی نیز با اضافه نمودن مفهوم Run-On اجرا گردید، نتایج مطابق شکل (۱۱) می‌باشد.

مقدار  $qt$  که در شبیه‌سازی اولیه به دست آمده بود، ضرب شد و به منظور محاسبه سهم مفهوم Run-On،  $qt$  اصلاحی محاسبه گردید و مطابق شکل (۹) هیدروگراف در هر سه حالت ترسیم و مقایسه گردید.

$$r = 1 + \frac{\alpha}{\delta t} \quad (16)$$

جدول (۳) آماره‌های RMSE، NS و MRE برای هیدروگراف شبیه‌سازی شده بدون لحاظ نمودن مفهوم Run-On (RASAM-d1) و هیدروگراف شبیه‌سازی

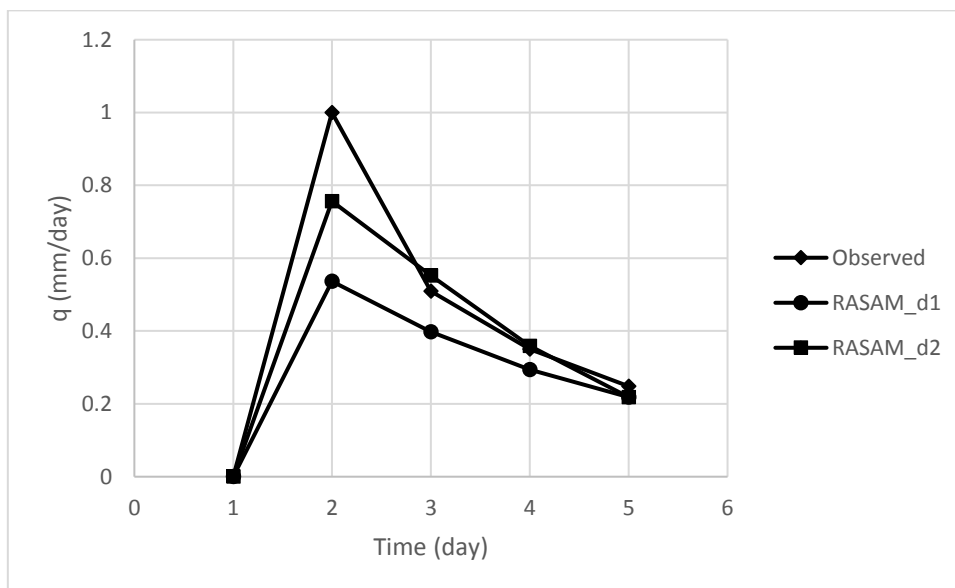
شده با لحاظ نمودن مفهوم Run-On (RASAM-d2) را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این جدول مشاهده می‌گردد



شکل (۱۰): نتایج شبیه‌سازی دبی لاترال زیرزمینی برای رخداد بارندگی  $P_2$  در مزرعه F30-1 در شهرستان میاناب توسط مدل RASAM-d1 بدون لحاظ نمودن Run-On و مدل RASAM\_d2 با لحاظ نمودن مفهوم Run-On در مقایسه با نتایج مشاهده شده

جدول (۳): ارزیابی هیدروگراف شبیه‌سازی شده توسط مدل RASAM-d1 و مدل RASAM\_d2 برای رخداد بارندگی  $P_2$

مدل	شرح مدل	RMSE	NS	MRE
RASAM-d1	مفهوم Run-On لحاظ نشده است	۰/۳۲	۰/۶۷	۲۶/۰۴
RASAM-d2	مفهوم Run-On لحاظ شده است	۰/۱۳	۰/۹۵	۱۳/۶۸



شکل (۱۱): نتایج شبیه‌سازی دبی لاترال زیرزمینی برای رخداد بارندگی P<sub>2</sub> در مزرعه F30-1 در شهرستان میاناب توسط مدل RASAM-d1 بدون لحاظ نمودن Run-On و مدل RASAM-d2 با لحاظ نمودن مفهوم Run-On در مقایسه با نتایج مشاهده شده

به منظور ارزیابی مدل معیارهای آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، معیار کفایت نش ساتکلیف (NS)، میانگین خطای نسبی (MRE) مطابق فرمول ۱۹-۱۷ استفاده شد.

O<sub>i</sub>: مقدار مشاهده شده پارامتر  
S<sub>i</sub>: مقدار محاسبه شده پارامتر  
n: تعداد مقادیر شبیه‌سازی شده

جدول (۴) آماره‌های RMSE، NS و MRE را برای هیدروگراف شبیه‌سازی شده بدون لحاظ نمودن مفهوم Run-On (RASAM-d1) و هیدروگراف شبیه‌سازی شده با لحاظ نمودن مفهوم Run-On (RASAM-d2) نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این جدول مشاهده می‌گردد که مدل RASAM-d2 با لحاظ نمودن مفهوم جدید Run-On دقت بالاتری در برآورد دبی زهکش‌های زیرزمینی داشته است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2} \quad (17)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (18)$$

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - S_i}{O_i} \right| * 100 \quad (19)$$

جدول (۴): ارزیابی هیدروگراف شبیه‌سازی شده توسط مدل RASAM-d1 و مدل RASAM-d2 برای رخداد بارندگی P<sub>1</sub>

MRE	NS	RMSE	شرح مدل	مدل
۲۴/۱۳	۰/۵۸	۰/۲۲	مفهوم Run-On لحاظ نشده است	RASAM-d1
۶/۴	۰/۸۹	۰/۱۱	مفهوم Run-On لحاظ شده است	RASAM-d2

## نتیجه گیری

در این تحقیق مدل آنالوگ هیدرولوژی توزیعی RASAM بر پایه مطابقت مدارهای الکتریکی با معادلات هیدرولوژی و به منظور کاربرد مدل در برآورد سهم جریان سطحی و زیرزمینی در زمین‌های زراعی و محاسبه هیدروگراف زهکش‌های زیرزمینی بست داده شد و مدل آنالوگ RASAM-d1 معرفی گردید و به منظور لحاظ نمودن مفهوم جدید Run-On مدل آنالوگ توزیعی RASAM\_d2 توسعه یافت.

مدل جدید RASAM-d1 به منظور برآورد هیدروگراف رواناب سطحی برای حوضه Open Book اجرا گردید و به منظور برآورد دبی زهکش‌های زیرزمینی برای مزرعه F30-1 در شهرستان میاناب اجرا گردید. مطابق نتایج خروجی و مشاهده هیدروگراف خروجی، مدل دبی جریان زهکش زیرزمینی را کم‌تر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد نمود. با توجه به مطالعات قبلی که در زمینه نفوذ در حوضه‌های آبریز انجام شده بود مفهوم جدیدی به نام Run-On توسعه پیدا کرده است که عبارت از تاثیر به وجود آمدن جریان سطحی در مرز سطحی خاک بر روی سراسیابی و نفوذ آن در مراحل

## منابع

- پذیرا، ا. ۱۳۸۷. زهکشی سطحی در اراضی شالیزاری. پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست.
- ثقفیان، ب.، کیانی، م و آ. رفیعی نسب. ۱۳۹۰. معرفی یک روش جدید اعمال تاثیر روانش در هیدروگراف رواناب سطحی. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- شریفی، ف.، صفارپور، ش و ع. ایوب زاده. ۱۳۸۳. ارزیابی مدل رایانه ای AWBM 2002 در شبیه سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی تعدادی از حوزه های آبخیز ایران، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، سال هفدهم، شماره ۶۳، ص ۴۲-۳۵.
- عزیزی، آ و ع. حسن اقلی. ۱۳۹۴. بررسی کمیت و کیفیت زهاب خروجی از زهکش‌های زیرزمینی در امتداد و عمود بر جهت جریان آبیاری. اولین همایش ملی بررسی ابعاد فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی طرح احیا ۵۵۰ هزار هکتاری اراضی خوزستان و ایلام.
- مختاران، ر.، ناصری، ع.، کشکولی، ح. و برومندنسب، س. ۱۳۹۲. اثر عمق زهکش و لایه محدود کننده بر دبی و شوری زهاب در اراضی قریاب جنوب خوزستان. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۷۳-۶۱: (۱)
- نورانی، و.، منجمی، پ و م، رفیع زاده. ۱۳۸۷. استفاده از مدل آنالوگ مایع در آموزش هیدرولوژی مهندسی (مدل سازی بارش-رواناب). مجله فناوری و آموزش، سال دوم، جلد ۲، شماره ۳.



نوذری، ح. ع، زالی، س، آزادی، ۱۳۹۴. بررسی آزمایشگاهی تغییرات شوری زه آب در فواصل و اعماق مختلف زهکش در حضور آب زیرزمینی شور. نشریه دانش آب و خاک. جلد ۲۶، شماره ۲، صفحه های ۱۳۹ تا ۱۵۰.

Abdollahi, Kh., P. Guzman and M. Huysmans. 2016. Rainfall-runoff modelling using a spatially distributed electrical circuit analogue. *Nat Hazards*. 82:1279-1300.

Aston, AR. 1979. Rainfall interception by eight small trees. *J Hydrol* 42:383-396.

Agarwal, K., D. Sylvester and D. Blaauw. 2003. Simple Metrics for Slew Rate of RC Circuits Based on Two Circuit Moments. *Proceedings of the 40th annual Design Automation Conference (DAC)*: 950-953.

Chow, VT. 1964. Hydrology and its development. In: *Handbook of applied hydrology*, McGraw-Hill, New York, Section 1:1-10.

Collier, CG. 1998. Modelling a river catchment using an electrical circuit analogue. *Hydrol Earth Syst Sci* .2:9-18

Dengfeng, L., T. Fuqiang., Hu. Hongchang and Hu. Heping. 2012. The role of run-on for overland flow and the characteristics of runoff generation in the Loess Plateau, China. *Hydrological Sciences Journal*. 57: 1107-1117.

Di Giammarco P., E. Todini and P. Lamberti. 1996. A conservative finite elements approach to overland flow: the control volume finite element formulation. *J Hydrol* 175(1):267-291.

De Zeeuw. J.W. and F. Hellinga. 1960. *Landbouwkunding Tijdschrift*, 70:405-421.

Heras, M. 2010. Plot-scale effects on runoff and erosion along a slope degradation gradient. *Water Resources Research*. 46 (4): 04503.

Horton, R. E. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Transactions, American Geophysical Union* 14: 446-460.

Inc Aquanty. 2013. HGS 2013, HydroGeoSphere user manual. Waterloo, Ontario.

Jothityangkoon, C., M. Sivapalan and DL. Farmer. 2001. Process controls of water balance variability in a large semi-arid catchment: downward approach to hydrological model development. *Hydrology*. 254: 174-198.

Kumar, D. 2011. Distributed rainfall runoff modeling. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 04: 270-275.

Meng H., T R. Green., J D. Salas and L R. Ahuja. 2008. Development and testing of a terrain-based hydrologic model for spatial Hortonian Infiltration and Runoff/On. *Environmental Modelling & Software*. 23: 794-812.

Macmillan, H., M. Clark., R. Woods Duncan., M. Srinivasan M., A. Western and D. Goodrich. 2010. Improving perceptual and conceptual hydrological models using data from small basins. *IAHS Publication*. 336: 264-269.

Melesse AM., Q. Weng, PS. Thenkabail, GB. Senay. 2007. Remote sensing sensors and applications in environmental resources mapping and modelling. *Sensors* 7(12):3209-3241

Nahar, N. 2004. Role of run-on for describing field-scale infiltration and overland flow over spatially variable soils. *Journal of Hydrology*. 286: 36-51.

Nourani, V., MH. Aminfar., MT. Alami., E. Sharghi and VP. Singh. 2014. a) Unsteady 2-D seepage simulation using physical analog, case of Sattarkhan embankment dam. *J Hydrol*. 519:177-189.

Nourani, V., MH. Aminfar., MT. Alem and E. Sharghi. 2014. b) Liquid analog circuits for laboratory simulation of steady-state seepage. *J Environ Hydrol*. 22:1-15.

Nourani, V., P. Monadjemi and VP. Singh. 2007. Liquid analog model for laboratory simulation of rainfall-runoff process. *J Hydrol Eng*. 12(3):246-255.

Oudin L., L. Moulin, H. Bendjoudi and P. Ribstein. 2010. Estimating potential evapotranspiration without continuous daily data: possible errors and impact on water balance simulations. *Hydrol Sci J (Journal des Sciences Hydrologiques)* 55(2):209-222

Pedersen JT., JC. Peters and OJ. Helweg. 1980. Hydrographs by single linear reservoir model. No. HEC-TP-74. *J Hydraulics Div-CA, ASCE* 106(HY5):837-852



Saghafian, B. Sh. Noroozpour., M. Kiani and A. Rafieei Nasab. 2016. A coupled ModClark-curve number rainfall-runon-runoff model. Arab J Geosci. 9:277.

Shen, C., and MS. Phanikumar.2010. A process-based, distributed hydrologic model based on a large-scale method for surface–subsurface coupling. Adv Water Resour 33(12):1524–1541.

Singh, VP.1995. Computer Models of Watershed Hydrology (1st Edition), 1-22. ighlands Ranch, Colorado: Water Resources Publications.

Stark, CP and GJ. Stark. 2001. A channelization model of landscape evolution. Am J Sci 301:486–512.

Traore, V. B., S. Sambou., S. Tamba., S. Fall., A.T. Diaw and M.T. Cisse. 2014. Calibrating the rainfall-runoff model GR4J and GR2M on the Koulountou river basin, a tributary of the Gambia River. American Journal of Environmental Protection. 3: 36-44.

Vidon, P. and P.E.Cuadra. 2010. Impact of precipitation characteristics on soil hydrology in tile-drained landscapes. Journal of hydrological processes. 24 (13): 1821-1833.

Weibull, W.1951. A statistical distribution function of wide applicability. J Appl Mech 18:293–297.

Yair, A and A. Kossovsky. 2002. Climate and surface properties: hydrological response of small arid and semi-arid watersheds. Geomorphology. 42 : 43–57.



## Performance study of RASAM\_d Distribution Models in Rainfall Runoff Simulation

Zeinab Mirzaie<sup>1</sup>, Rouhallah Fatahi<sup>2\*</sup>, Khodayar Abdollahi<sup>3</sup>, Azarakhsh Azizi<sup>4</sup>, Ali Mokhtaran<sup>5</sup>

### Abstract

Since it is not possible to fully measure the data required for the catchments for runoff rainfall models, so choosing a model that can accurately represent the output hydrograph while simplifying the structure using minimum input data, It is a must. In this research, the distributed analog hydrology RASAM model based on the matching of electrical circuits with hydrological equations was applied to model the estimation of the contribution of surface and underground flow to arable lands and the calculation of underground drainage hydrographs introduced the analog model RASAM-d1. In order to incorporate the new concept of Run-On the distributed analog model RASAM\_d2 was developed. The new RASAM-d1 model was implemented to estimate surface runoff hydrograph for the Open Book Basin and was used to estimate the underground drainage discharge for the F30-1 farm in Mes-Abad County. In this study, a new concept of Run-On for agricultural lands was first introduced. The calculations related to the addition of the new Run-On concept to the RASAM-d1 model were performed and the RASAM\_d2 model was developed and implemented for two P1 and P2 rainfall events and the model was validated and the RMSE, NS and MRE statistical indices for RASAM\_d2 model obtained the values of 0.13, 0.11, 0.95, 13.68, 0.89 and 6.4 for 2 rainfall events, respectively. According to the results, by adding the new Run-On concept, the RASAM\_d2 distribution model estimated the groundwater drainage hydrograph much more accurately. With this concept in mind, the contribution of underground stream feeding to precipitation was estimated more accurately. The results of applying this model in two examples show that this new distributed model is able to simulate the process of converting precipitation into surface runoff and deep feeding of underground drainage. Therefore, using this model, one can expect the dimensions of hydraulic structures and underground drainage to be designed more accurately and the drainage systems that are being implemented will be used with greater efficiency.

**Keywords: simulation, rainfall-run off model, analogue model, Run-On, Estimation of surface and underground flow**

<sup>1</sup> Ph.D student, Department of Water engineering, Agriculture College, Shahrekord University, Sharekord, Iran, 09133663271, ([z\\_mirzaie\\_iut@yahoo.com](mailto:z_mirzaie_iut@yahoo.com))

<sup>2\*</sup> Associated Professor, Department of Water engineering, Agriculture College, Shahrekord University, Sharekord, Iran, ([fatahi2@gmail.com](mailto:fatahi2@gmail.com), [fattahi@sku.ac.ir](mailto:fattahi@sku.ac.ir)) (Corresponding Author)

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of nature, Faculty of Earth Sciences, Shahrekord University, Iran, [abdollahikh@gmail.com](mailto:abdollahikh@gmail.com))

<sup>4</sup> Instructor, Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahwaz, Iran, ([azizy@yahoo.com](mailto:azizy@yahoo.com))

<sup>5</sup> Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahwaz, Iran, ([alimokhtaran@gmail.com](mailto:alimokhtaran@gmail.com))





## Performance study of RASAM\_d Distribution Models in Rainfall Runoff Simulation

Zeinab Mirzaie<sup>1</sup>, Rouhallah Fatahi<sup>2\*</sup>, Khodayar Abdollahi<sup>3</sup>, Azarakhsh Azizi<sup>4</sup>, Ali Mokhtaran<sup>5</sup>

### Introduction

Drainage is the collection and discharge of water from the surface or soil profile and the retention of water within the soil profile so plant can use it as irrigation water. If the land does not have natural drainage, it is necessary to use artificial drainage (Pazira, 2008). Predicting the performance of drainage systems in controlling the water table and drainage can help a lot in planning and managing these systems (Mokhtaran et al., 2013). Vidon and Guadra (2011) investigated 8 rainfall events that led to the generation of groundwater drainage in a soil with silty loam soil. They concluded that between rainfall and water table with average and maximum flow And runoff intensity was highly correlated in groundwater drains. The maximum rainfall intensity was inversely correlated with the hydrograph response time and it was suggested that the fast response time is due to the increase in flow in large pores under high intensity rainfall. Rainfall-runoff models are important tools used in hydrology that enable users to predict runoff from rainfall in a watershed (Traore et al., 2014). Choosing a model that can provide a prediction with the desired accuracy while using the simplicity of the structure and using minimal input information (Sharifi et al., 2004). The use of analog models alone or in combination with modern methods can not only be fruitful in better understanding hydrological processes. (Singh, 1995). The research that has been done so far on runoff precipitation modeling has ignored the effect of flow on the soil surface and its subsequent infiltration. The run-on phenomenon is defined as the infiltration of surface water when it encounters areas with a lack of soil moisture as it moves downstream. (Nahar., 2004).

In this paper, the distributed analog model RASAM\_d1 is introduced to estimate the share of surface and groundwater flow in agricultural drainage fields. This model, while simplifying the structure using the minimum input data, provides the output hydrograph with the desired accuracy. In order to increase the accuracy of estimating groundwater drainage hydrographs, a new Run-On concept has been included in this model and the RASAM\_d2 distributed analog model has been developed. This new distribution model is able to simulate the process of converting precipitation to surface runoff and deep feeding of underground drains with very high accuracy.

### Methodology

In order to conduct the research, the rainfall runoff analog RASAM model was used. This model was developed in 2015 (Abdollahi et al., 2016). In this research, RASAM-d1 model was developed for application in calculating the share of surface flow and drainage in field drains.

<sup>1</sup> Ph.D student, Department of Water engineering, Agriculture College, Shahrekord University, Sharekord, Iran, 09133663271, ([z\\_mirzaie\\_iut@yahoo.com](mailto:z_mirzaie_iut@yahoo.com))

<sup>2\*</sup> Associated Professor, Department of Water engineering, Agriculture College, Shahrekord University, Sharekord, Iran, ([fatahi2@gmail.com](mailto:fatahi2@gmail.com), [fattahi@sku.ac.it](mailto:fattahi@sku.ac.it)) (Corresponding Author)

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of nature, Faculty of Earth Sciences, Shahrekord University, Iran, [abdollahikh@gmail.com](mailto:abdollahikh@gmail.com))

<sup>4</sup> Instructor, Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahwaz, Iran, ([azizy@yahoo.com](mailto:azizy@yahoo.com))

<sup>5</sup> Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahwaz, Iran, ([alimokhtaran@gmail.com](mailto:alimokhtaran@gmail.com))

In this study, each pixel of the networked field is compared as an electrical circuit with 4 capacitor-resistance circuits. Based on the deductive model of HS-ES processes (hydraulic system - electrical system), shape parameters and Weibull scale were used to describe the final hydrological equations. The RASAM model uses a network approach to simulate the spatial distribution of leaf, evapotranspiration, infiltration and surface runoff.

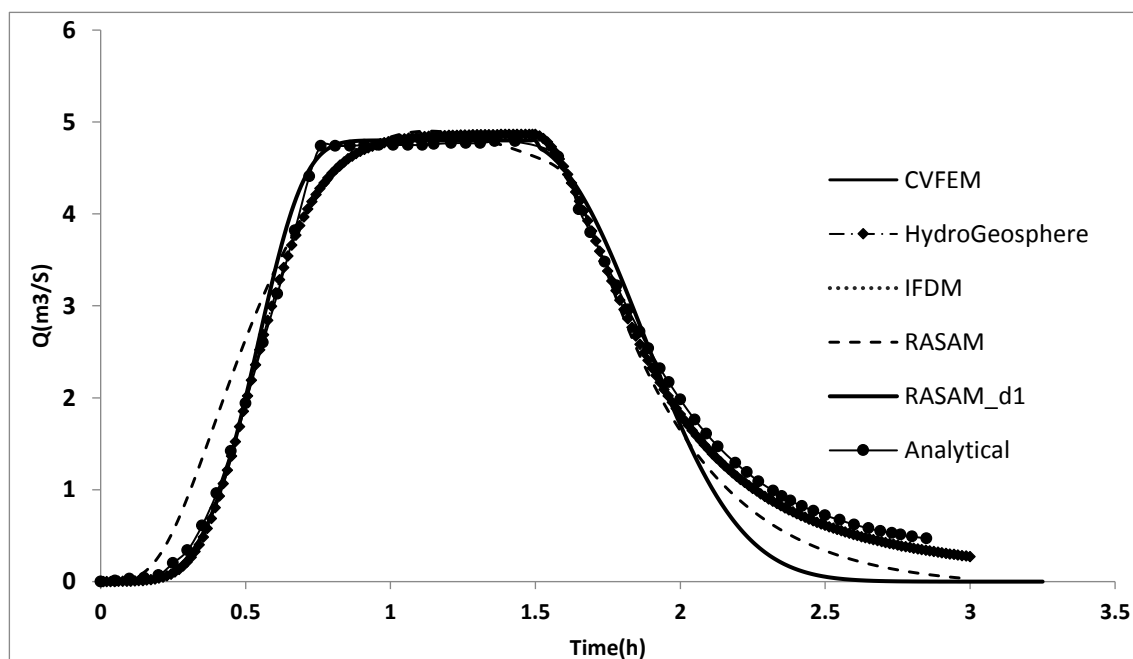
In the RASAM model, the water balance per pixel is according to formula (1).

$$\Delta S = P - (f_1(RC_1) + f_2(RC_2) + f_3(RC_3) + f_4(RC_4)) \quad (1)$$

Where  $S \Delta$  is soil moisture (mm),  $P$  is rainfall (mm),  $RC_1$  is the corresponding transpiration evaporation function,  $RC_2$  is the corresponding deciduous function,  $RC_3$  is the corresponding infiltration function and  $RC_4$  is the corresponding surface runoff function.

In the first step, the RASAM-d1 model was used for the Open Book Basin. A hypothetical rainfall event was simulated with a rainfall time of 1.5 h for a rainfall intensity of 10 mm / h. The surface of the basin and the middle canal were assumed to be impermeable and the surface runoff was simulated. In RASAM-d1 model, the values of scale and shape parameters of the basin were divided into two parts during and after rainfall and different values were considered.

The simulation results of the rainfall event in the Open Book basin are as shown in Figure (1).



Figure(1): Surface runoff simulation results for a hypothetical rainfall event with a time of 1.5 hours on the Open Book Basin by RASAM-d1 model compared to several other models

By comparing the output hydrographs of CVFEM, HydroGeosph, IFDM and analytical models, the results of these models are very well matched. The RASAM-d1 model is better than the RASAM model with the hydrograph obtained from the analytical model.

In order to apply the model in arable land and simulate underground drainage hydrographs from data related to 2 rainfall events in the year 94-93 in winter planting conditions (wheat) and at the site of drainage project of F30-1 farm with an area of 44 hectares in the province Khuzestan was used. RASAM-d1 model using research farm data and 2 rainfall events P1 and P2 (respectively related to rainfall on 03/22/2015 and 05/22/2015 and rainfall on 22/02/2015 and 23/02/2015) Was implemented . According to the figure (2) models, RASAM-d1 simulates the output hydrograph with good accuracy in

the ascending branch, but the peak hydrograph and the slope of the descending branch are less than the measured value. Then the concept of Run-On was included in the RASAM\_d model and the RASAM-d2 model was developed.

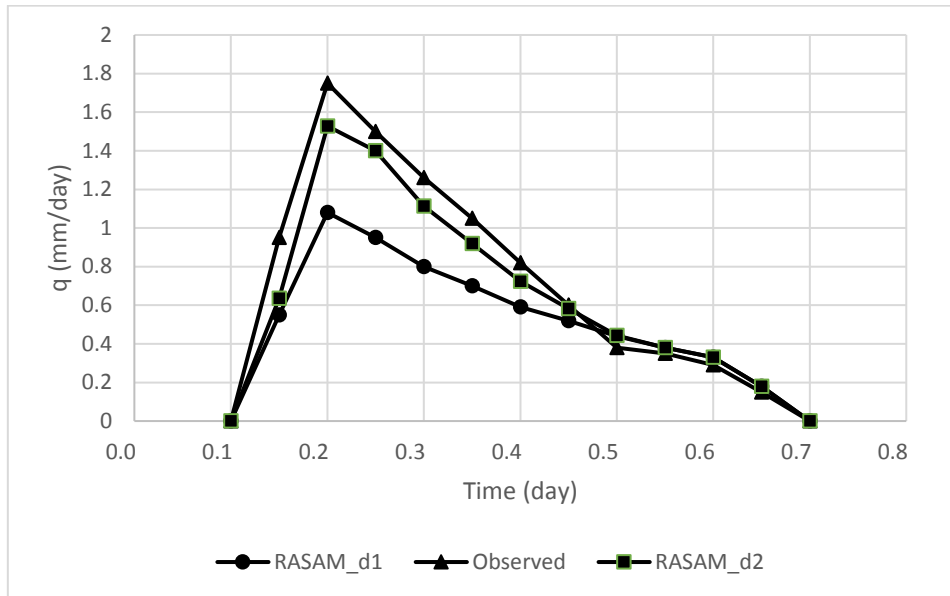


Figure (2): The results of simulation for P2 event by RASAM-d1 model without considering Run-On and RASAM\_d2 model by considering Run-On concept in comparison with the observed results

### Conclusion and Discussion

The new RASAM-d1 model was used to estimate the surface runoff hydrograph for the Open Book Basin and to estimate the underground drainage discharge for the F30-1 farm in Mianab city. According to the output results and observation of the output hydrograph, the flow model of the underground drainage flow was less than the observed values. According to previous studies on infiltration in catchments, a new concept called Run-On has been developed, which is the effect of surface flow at the soil surface boundary on the slope and its infiltration in later stages. In this study, for the first time, the new concept of Run-On for agricultural fields has been proposed. Calculations related to adding a new Run-On concept to the RASAM-d1 model were performed and the RASAM\_d2 model was performed for two rainfall events P1 and P2. According to the results, by adding the new Run-On concept, the RASAM\_d2 distribution model estimated the drainage hydrograph with much higher accuracy. If this concept is considered in the infiltration equations and in the equations of underground drains, the share of groundwater flow from the amount of rainfall is estimated with higher accuracy and consequently the dimensions of water structures and underground drains are designed with higher accuracy. And the drainage systems that will be implemented will be operated with higher efficiency.

### The most important references

- Abdollahi, Kh., P. Guzman and M. Huysmans. 2016. Rainfall-runoff modelling using a spatially distributed electrical circuit analogue. *Nat Hazards*. 82:1279-1300.
- Nahar, N. 2004. Role of run-on for describing field-scale infiltration and overland flow over spatially variable soils. *Journal of Hydrology*. 286: 36-51.